



SÄHKÖNOMINAISKULU- TUKSEN VÄHENTÄMINEN SELLUPROSESSISSA

TEKIJÄ/T: Tarmo Saukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tarmo Saukkonen	
Työn nimi Sähkönominaiskulutuksen vähentäminen selluprosessissa	
Päiväys 28.9.2013	Sivumäärä/Liitteet 41/2
Ohjaaja(t) Risto Niemi, Ritva Käyhkö	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Stora Enso, Klaus Leppänen	
Tiivistelmä <p>Työn tavoite oli selvittää kuitulinjan sähkönkulutuksen alentamiseen soveltuvia muutoskohteita ja arvioida kohteiden parannuksista syntyvä kustannus ja säästö. Lisäksi tavoitteena oli muodostaa selkeä sapluuna, joka on helposti hyödynnettävissä tehtaan muiden osastojen energiansäästöselvityksissä.</p> <p>Työ sisältää muutosehdotuksia joiden yhteenlaskettu sähkönsäästö on noin 3550 MWh/a. Pumpauksesta aiheutuvat kustannukset alentuisivat n. 177 000 €/a laskennassa käytetyllä sähkönhinnalla 50 €/MWh. Muutoksista aiheutuvat kustannukset ovat noin 157 000€ ilman asennuskustannuksia. Kuitulinjan osalta sähkönominaiskulutus laskisi työssä esitetyillä muutoksilla n. 6,7 %. Hiilidioksidipäästöjen vähennyspotentiaali on noin 570 tonnia CO₂/vuosi, laskettuna StoraEnso konsernin ympäristöraportoinnissa käytetyllä sähköntuotannon päästöarvolla 161kgCO₂/MWh.</p>	
Avainsanat sähkönsäästö, energiankulutus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Tarmo Saukkonen			
Title of Thesis Reducing Electricity Specific Consumption in Pulp Process			
Date	28.9.2013	Pages/Appendices	41/2
Supervisor(s) Risto Niemi, Ritva Käyhkö			
Client Organisation /Partners StoraEnso/Klaus Leppänen			
Abstract The goal of the report was to find out, how electricity consumption can be reduced in fiber line and to estimate the costs and savings of modifications. Second aim was to create a template, which is easily accessible for other units in energy saving study. The study includes amendments with combined electricity savings of about 3550 MWh/year. The reduction of pumping costs is about 177000 €/year, calculated with electricity price 50 €/MWh. Costs of amendments are around 157000 € without costs of installations. In the fiber line electricity specific consumption would drop by about 6, 7 % with changes that are presented in this thesis. Reduction potential of carbon dioxide emissions is about 570 tons CO ₂ / year, calculated by StoraEnso Group`s environmental reporting power generation emissions value 161 kg CO ₂ / MWh.			
Keywords electricity savings, energy consumption			

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	5
1 VARKAUDEN TEHDAS	5
1.1 TEHTAAN ENERGIAHUOLTO	6
1.2 KUITULINJA	6
2 TYÖN TAVOITTEET	7
3 SÄHKÖNKULUTUKSEN NYKYTILA	8
3.1 MOOTTOREIDEN TEHOJAKAUMA JA SIJAINTI	8
4 PUMPPAUKSEN SÄÄTÖTAVAT	9
4.1 PYÖRIMISNOPEUDEN SÄÄTÖ	10
4.2 KURISTUSSÄÄTÖ	11
4.3 JAKSOKÄYNTI	11
4.4 OHIVIRTAUSSÄÄTÖ	11
5 SÄHKÖNKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN	12
5.1 KO-9256 KLOORIDIOKSIDILAITOKSEN KOMPRESSORI	14
5.2 PU- 8411 LAJITTELUN LAIMENNUSPUMPPU 2	15
5.3 PU- 8450 HAPPIVAIHEEN SYÖTTÖPUMPPU	18
5.4 PU- 8457 GF-PESURIN SYÖTTÖPUMPPU	20
5.5 PU- 8459 GF-SAOSTIMEN ETULAIMENNUSPUMPPU	22
5.6 PU- 8500 VALKAISUN LAJITTELUN SYÖTTÖPUMPPU	24
5.7 PU- 8501 MODUF - LAJITTIMEN SYÖTTÖPUMPPU	27
5.8 PU- 8511 GF-SUOTIMEN ETULAIMENNUSPUMPPU	29
5.9 77 ASTEISEN VEDEN PUMPUT PU-9033 JA PU-9034	31
5.10 PU- 9038 JÄÄHDYTETYN VEDEN PAINEENKOROTUSPUMPPU	34
5.11 PU- 9037 KEMIALLISESTI PUHDISTETUN LÄMMITETYN VEDEN PUMPPU	35
6 LÄMPÖENERGIAN SÄÄSTÖ MAHDOLLISUUS	37
7 YHTEENVETO	38
8 LÄHTEET	39
LIITE 1: PUMPPUKÄYTTÖJEN ENERGIAANSÄÄSTÖ JA MUUTOSKUSTANNUKSET	40
LIITE 2: MITTAUSPÖYTÄKIRJA	41

JOHDANTO

Tämä energiatekniikan opinnäytetyö tehtiin AMK insinööritutkintoon StoraEnson Varkauden tehtailla. Sain työn aiheen kehitysteknikko Klaus Leppäseltä ja aihe liittyy StoraEnso konsernin sitoutumiseen vähentää energianominaiskulutusta tehtaidensa tuotannossa. Työn tavoitteena oli selvittää kohteita, joilla ominaissähkönkulutusta voitaisiin vähentää Varkauden sellutehtaan kuitulinjalla. Työssä selvitetään sähkökäyttöjen käyntiajan vähentäminen, turhat kierrätykset, rinnakkaintoimivien pumppujen ajotavat, moottorimitoitukset sekä mahdolliset vaihdot nopeussäädettäviin käyttöihin. Työn edetessä löytyi myös yksi toteutuskelpoinen energiansäästö mahdollisuus lämpöenergian käytön vähentämiseen.

1 VARKAUDEN TEHDAS

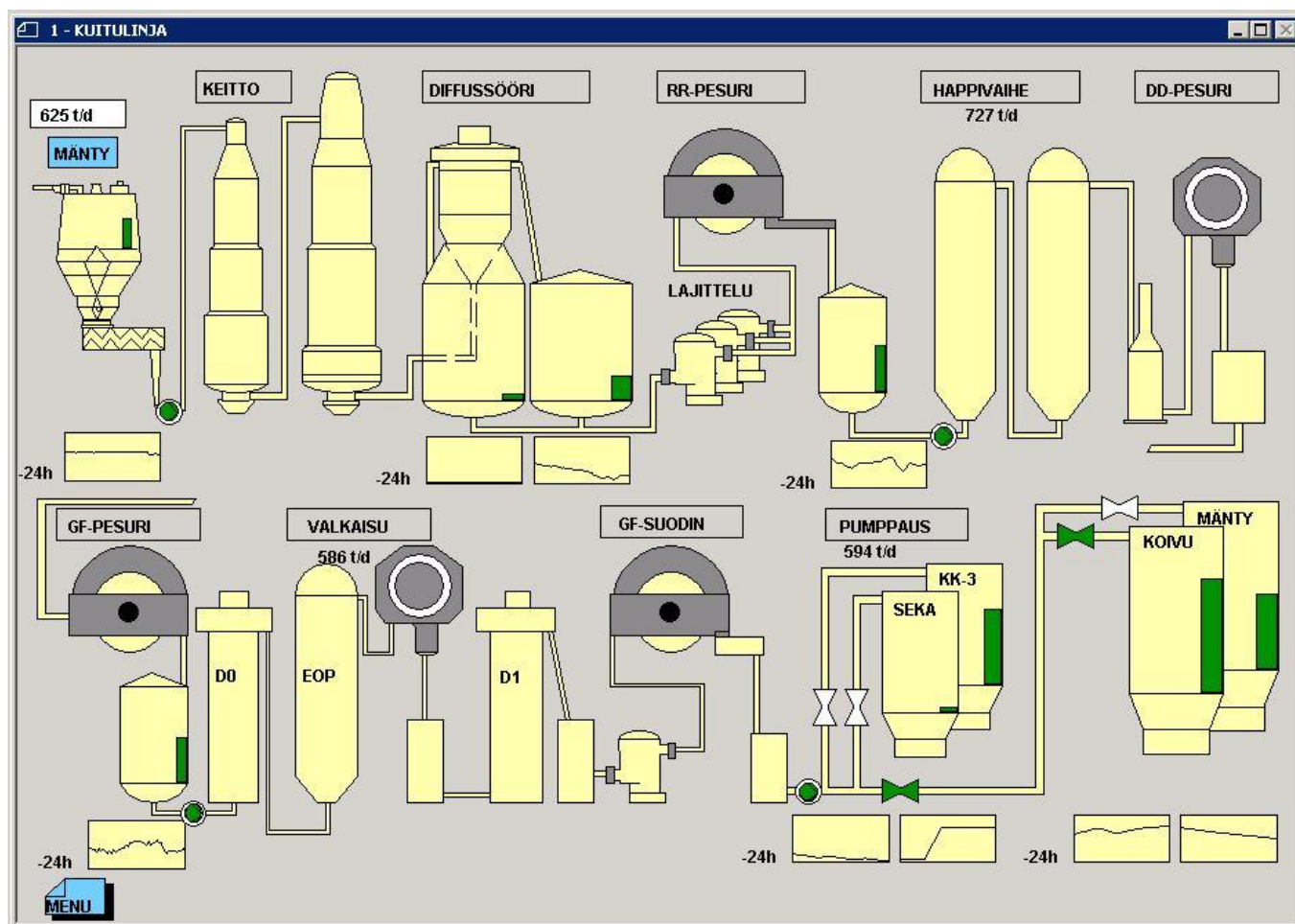
StoraEnson Varkauden tehdas sijaitsee sisäsuomessa vesistöreittien ja hyvien metsämaiden ympäröimänä. Ensimmäinen paperikone Varkaudessa käynnistyi vuonna 1921. Parhaimmillaan neljällä paperikoneella pyörineet tehtaot ovat 2000 - luvulla supistuneet yhden paperikoneen tehtaaksi. Varkauden tehdas tuottaa paperia, sellua ja sahatavaraa. Paperia valmistetaan yhdellä tuotantolinjalla ja sen tuotteita ovat toimistokäyttöön tarkoitetut päällystämättömät (UWF) hienopaperit mm. lomake, kirjekuori, offset, ja ohkopainopaperit. Päämarkkina- alue on Keski-Eurooppa. Paperikoneen tuotantokapasiteetti on n. 290 000 tonnia vuodessa. Valkaistua havu- ja lehtipuusellua (ECF) valmistetaan paperitehtaaseen integroidulla jatkuvatoimisella sulfaattisellulinjalla n. 225000t/a tehtaan paperikoneen käyttöön. Sahatavaraa Varkaudessa valmistuu n. 345 000 m³. (Esittelyaineisto, StoraEnso 2012).

1.1 TEHTAAN ENERGIAHUOLTO

Sellutehtaan soodakattila on mustalipeäkattila, joka on rakennettu vuonna 1980. Soodakattilan energiantuottokyky on 120 MW. Maksimi höyryntuotto on n. 47 kg/s. Soodakattilan lisäksi tehtaalla on kolme käytössä olevaa höyryvoimakattilaa, joista uusin K6 on rakennettu vuonna 1998 (Ahlström). K5 on varalla oleva öljykattila ja K7 kierrätyspolttoaineen (REF) kaasutukseen ja tuotekaasun polttoon modernisoitu raskasöljykattila. K7 kattilan energiantuottokyky on 50 MW ja maksimi höyryntuotto on 20 kg/s. Kattilaan kytketty kaasutin hyödyntää nestepakkausten sisältämää muovi-alumiinijäätettä. K6 on kiertoleijukattila (Pyroflow), jonka tuottamaa höyryenergiaa käytetään paperin ja sellun tuotannon prosessihöyrynä, sähköntuotannossa ja kaukolämmöntuotannossa Varkauden kaupungille. Mitoitettu energiantuottokyky K6:lla on 150 MW ja maksimi höyryntuotto 60 kg/s. Polttoaineena K6 käyttää kuorta, turvetta, metsähaketta ja kivihiiltä. K6 toimii tehtaan höyryverkon säätävänä kattilana. Tehtaalla on lisäksi neljä vesiturbiinia ja kaksi tehtaan höyryverkkoon kytkettyä säätöhöyryturbiinia sähköntuotantoon. Höyryturbiini HV4 on Siemensin valmistama radiaalisuuntainen vastapaineväliottoturbiini. Turbiinin höyrykapasiteetti on 60 kg/s ja generaattorin tuottama sähkötehon määrä on 37 MW. Turbiini HV5 on AEG:n valmistama aksiaalissuuntainen vastapaineväliottoturbiini. Turbiinin höyrykapasiteetti on 48 kg/s ja generaattorin tuottama sähkötehon määrä on 20 MW. Vesiturbiinien tuottama sähköteho on yhteensä n. 4 MW. Lisäksi tehtaan meesauuni käyttää kalkin polttoon kaasutusmenetelmällä sahanpurusta valmistettua tuotekaasua. Meesauunin viereen rakennetun kaasutuslaitoksen avulla korvataan raskasta polttoöljyä.

1.2 KUITULINJA

Kuitulinjalla tuotetaan täysvalkaistua koivu ja mäntysellua jatkuvatoimisella Kamyr keittimellä yhteensä noin 225 000 tonnia vuodessa. Tuotettu sellu käytetään lähes kokonaan tehtaan paperikoneella. Ylijäävä sellutuotanto kuivataan kuivauskoneella konsernin muille tehtaille tai markkinaselluksi. Kuitulinja käynnistyi vuonna 1980 alun perin tarkoituksena valmistaa liukosellua. Myöhemmin tuotesuunta muuttui paperiselluksi ja valmistuslinjaa on vuosien kuluessa uudistettu ja modernisoitu mm. happivaihe, valkaisun EOP-vaihe ja hakesyöttö. Kuitulinja muodostuu hakkeensyötöstä, keittämöstä, pesu ja lajittelu vaiheesta, kaksireaktorisesta happivaiheesta ja kolmivaiheisesta valkaisusta (Kuva 1).



Kuva 1. Kuitulinjan prosessijärjestys (kuvankaappaus StoraEnson ohjausjärjestelmästä)

2 TYÖN TAVOITTEET

Työn tarkoituksena on kuitulinjan sähkökulutuksen vähentäminen. Työn ensimmäisessä vaiheessa selvitetään sähkökulutuksen nykytila ja rajataan tarkasteluun otettavien moottorikäyttöjen minimi teho. Selvitys etenee laskennassa käytettävien menetelmien ja prosessissa käytettävien laitteiden sekä mittausdatan haulla. Työn yhtenä tavoitteena on muodostaa selkeä sapluuna, jota hyödyntäen myös tehtaan muilla osastoilla voidaan energiankulutus tarkastelua tehdä.

Työ etenee seuraavissa vaiheissa, mistä tulee muodostumaan muillakin osastoilla hyödynnettävä laskentasapluuna:

1. Rajaus tehon perusteella (tässä työssä >30kW)
2. Pumppausprosessien kuvaus: pumppaustarve, ohjausmenetelmät, säätötavat
 - Kuristussäätö
 - kierrosnopeussäätö
 - On/off, jaksokäynti

- Kierrätys/ohivirtaus
- 3. Käytettävän laitteen tiedot/käyttömoottorin tiedot
 - positio
 - nimellistuotto
 - hyötysuhde
 - nimellisteho
 - nimellisnostokorkeus
 - juoksupyöränhalkaisija
- 4. Pumppauksen pysyvyyden määrittäminen
 - virtaus
 - säätöventtiilin asento
 - paine
 - moottorin virta
 - käyttöaika
- 5. Toimintapisteen määrittäminen
 - tilavuusvirtaus
 - tehomittaus
- 6. Laskenta ja potentiaalisimpien energiansäästö kohteiden valinta
- 7. Kannattavuuslaskelma ja takaisinmaksuaika

3 SÄHKÖNKULUTUKSEN NYKYTILA

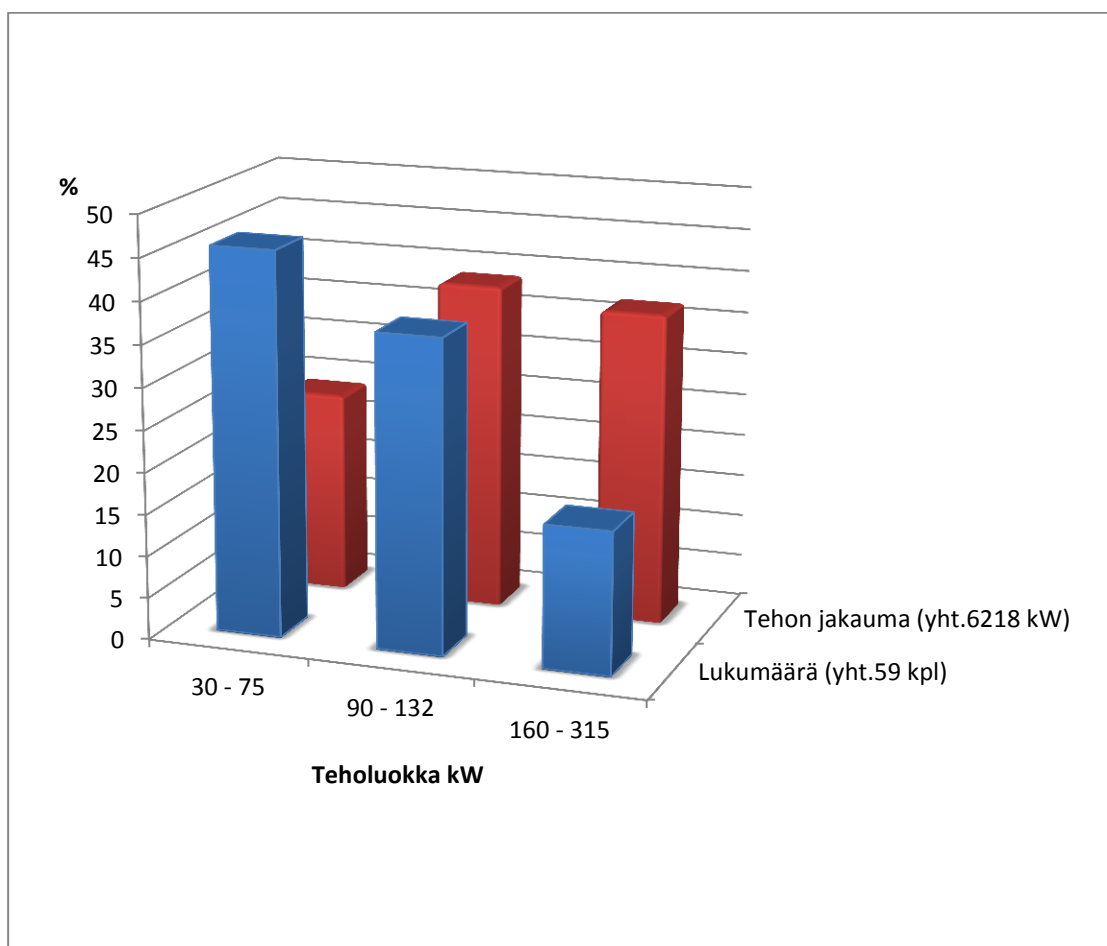
Kuitulinjan sähkönkulutus vuonna 2012 oli yhteensä 52 628 MWh ja kuukauden kulutuskeskiarvo 4390 MWh (Warkaus-tase 2012). Suurin osa kuitulinjan sähköstä kuluu erilaisten pumppujen, puhaltimien ja lajittimien sähkömoottoreissa. Kuitulinjan tuotanto vuonna 2012 oli 200 780 tonnia. Sähkönominaiskulutukseksi kuitulinjalla näistä muodostuu 0,262 MWh/sellutonni.

3.1 MOOTTOREIDEN TEHOJAKAUMA JA SIJAINTI

Pumppujen puhaltimien ja sekoittimien moottoreita selvitykseen kertyi yhteensä 59 kappaletta. Valittujen kohteiden yhteisteho on noin 6,2 MW (kuva 2). Tehojakauma ja sijainti prosessissa on esitetty taulukossa 1.

	Moottorin teho (kW)										
Prosessin osa	30	45	55	75	90	110	132	160	200	315	yht. kpl
Hakkeen käsittely ja keitto	2				3	1	3		2		11
Happivaihe	1	3		1	1	2	2			1	11
Pesu ja MML		2		4	1		2	1	2		12
Valkaisu				2			1		2	2	7
Toisiolämpö	2	3	1	4							10
Kempu vesi ja ClO ₂ laitos	1			1	5		1				8
	6	8	1	12	10	3	9	1	6	3	59

Taulukko 1. Moottorien sijainti ja koko



Kuva 2. Moottorien lukumäärä teholuokittain sekä tehon jakautuminen moottorikoon mukaan

4 PUMPPAUKSEN SÄÄTÖTAVAT

Pumppausta voidaan säätää erilaisin tavoin, merkityksellinen ero tulee kuitenkin säädön taloudellisuudesta energiankulutuksen ja laitteiden keston kannalta.

4.1 PYÖRIMISNOPEUDEN SÄÄTÖ

Pumpulle edullisin säätötapa on pyörimisnopeuden muuttaminen taajuusmuuttajan avulla. Pumpun antama hyötysuhde pysyy hyvänä laajalla alueella ja säätöventtiili ei aiheuta pumpulle ylimääristä kuormitusta. Tämä säätötapa on hankintavaiheessa kallein, mutta käytössä edullinen. Pyörimisnopeutta muutettaessa pumpun ominaiskäyrän pisteet muuttuvat seuraavasti.

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$$

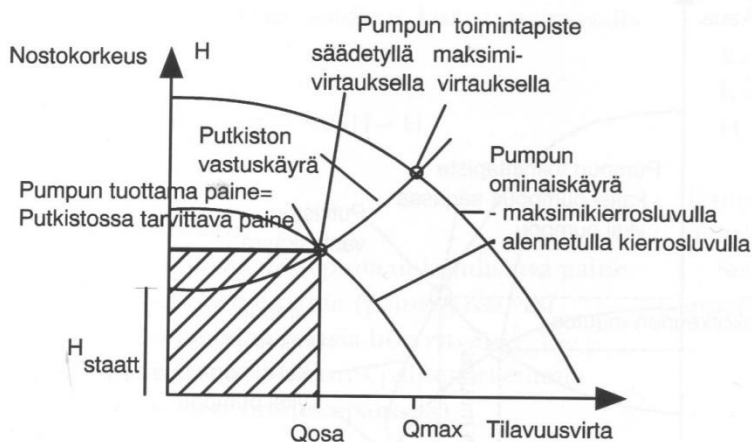
Q = tilavuusvirtaus

H = nostokorkeus

n = pumpun pyörimisnopeus

P = pumpun ottama teho

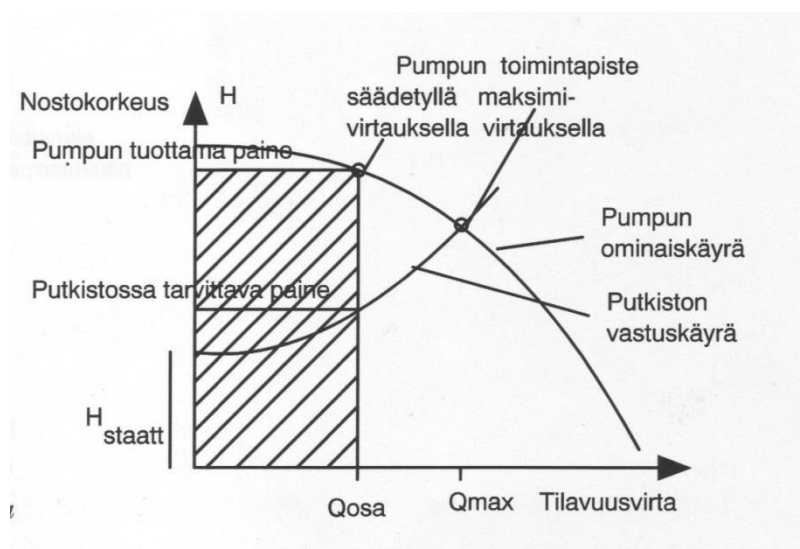
Edellä kuvattujen affiniteettisääntöjen mukaan pumpun tilavuusvirta muuttuu suoraan verrannollisena pumpun kierroslukuun, nostokorkeus muuttuu vastaavasti verrannollisena kierrosluvun toiseen potenssiin ja tehontarve vastaavasti verrannollisena kierrosluvun kolmanteen potenssiin. Kuvassa 3 on esitetty pumpun toimintapisteiden muuttuminen kierroslukusäädössä putkiston vastuskäyrää pitkin. Tarvittava putkistopaine on säädettävissä, jolloin myös pumpun ottama teho on optimaalinen. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2011, 142)



Kuva 3. Pumpun toimintapisteiden muuttuminen kierroslukusäädössä (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2011, 143)

4.2 KURISTUSSÄÄTÖ

Kuristussäädöllä tarkoitetaan säätötapaa, jolla pumppu käy vakio kierroksilla ja painepuolella olevaa säätöventtiiliä kuristetaan halutun virtauksen saamiseksi. Tämä epätaloudellinen säätötapa on paljon käytetty, koska sillä on hankintavaiheessa halvin hinta. Kuvassa 4 on esitetty pumpun toimintapisteen muuttuminen kuristussäädössä. Kuristettaessa virtausta toimintapiste siirtyy ominaiskäyrää pitkin oikealle (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2011, 141).



Kuva 4. Pumpun toimintapisteen muuttuminen kuristussäädössä (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2011, 141)

4.3 JAKSOKÄYNTI

Jaksokäynti tarkoittaa säätö tai paremminkin ohjaustapaa, jolla pumppu välillä pysäytetään rajakaisijalla esimerkiksi paineesta tai pinnankorkeudesta. Tämä säätötapa on hyötysuhteeltaan hyvä, ongelmaksi muodostuu käyttömahdollisuuksien rajallisuus ja säädön vaihtelu.

4.4 OHIVIRTAUSSÄÄTÖ

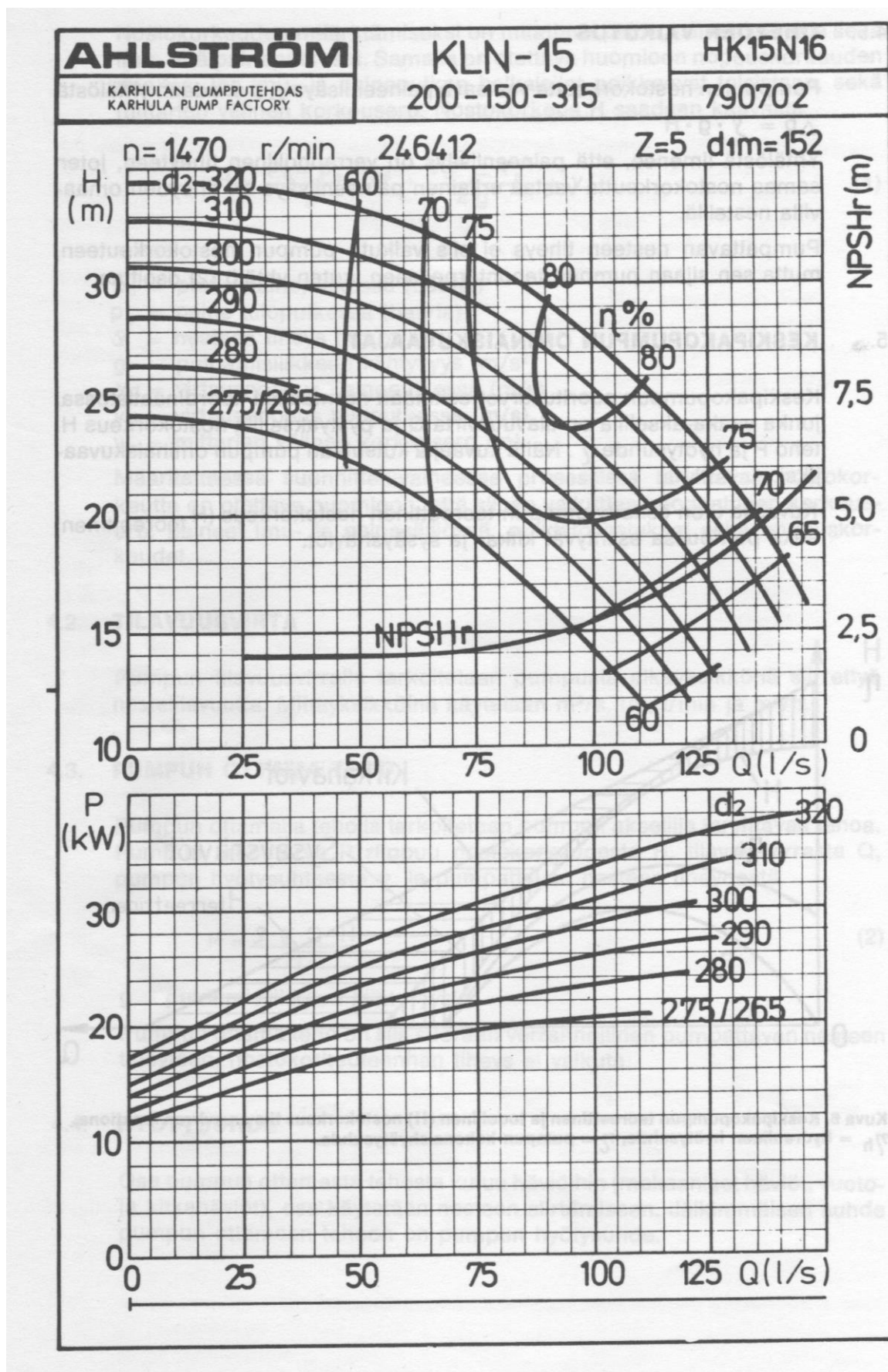
Ohivirtaussäädössä osa virtauksesta ja samalla virtaukseen tuotetusta tehosta menee hukkaan. Tarvittava virtaus tai paine saadaan aikaan kuristamalla ohivirtauspuolta. Yleensä ohivirtaus ohjataan takaisin pumpun tai puhaltimen imupuolelle.

5 SÄHKÖNKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Selvitystyössä kartoitettiin sähkökäytöt joiden teholuokka oli yli 30 kW. Kuitulinjan pumppuja, puhaltimia ja lajittimia kertyi listalle yli 50 kappaletta. Laitteiden säätö ja ohjaustapoja tarkasteltiin energiatehokkuusmielessä uudelleen. Valituille kohteille kerättiin laitetietoja SAP järjestelmästä ja PI-kaavioista. Prosessien mittaus ja ohjaustiedot kerättiin tehtaan PHD järjestelmästä, joka tallentaa datan prosessinohjausjärjestelmästä. Dataa virtauksista ja venttiiliasennoista tulostettiin tuntikeskiarvoina aikaväliltä 1.1.2012 – 1.1.2013. Tiedoista muodostettiin pumppaukselle ja venttiiliohjaustiedoille pysyvyyskäyriä ja tilavuusvirtauksesta histogrammeja käyttöajan suhteen jaettuna. Näillä tiedoilla määriteltiin position pumppaustarve.

Muodostettujen tietojen sekä pumpputoimittajien ominaiskäyrien (kuva 5) ja ABB:n mitoitusohjelmien avulla selvitettiin pumppauksen toimintaa ja hyötysuhdetta sekä vertailtiin kuristussäädön tehokkuutta kierrosnopeussäätöiseen ohjaukseen. Lisäksi suoritettiin moottorilähdöistä tehomittauksia kytkemöissä Chauvin Arnoux merkkisellä energia-analysaattorilla sekä pumppauslinjojen painemittauksia paikallisesti asennettavalla painemittarilla.

Säätöventtiilin aiheuttaman painehäviön arvona laskuissa on käytetty 30 kPa:ta eli 3 m vesipatsasta. Putkiston aiheuttamaa painehäviötä ei ole otettu huomioon. Tiheyden arvona nesteille ja massoille on käytetty 1000kg/m^3 . Laskennassa on hyödynnetty ABB:n Pump Save 5.1 ja Drive Pump 1.2. mitoitusohjelmia. Moottoreiden ja taajuusmuuttajien hinnat ovat esimerkkihintoja. Pumppukäytöllä saavutettava energiansäästö ja muutuskustannukset on koostettu liitteeseen 1.

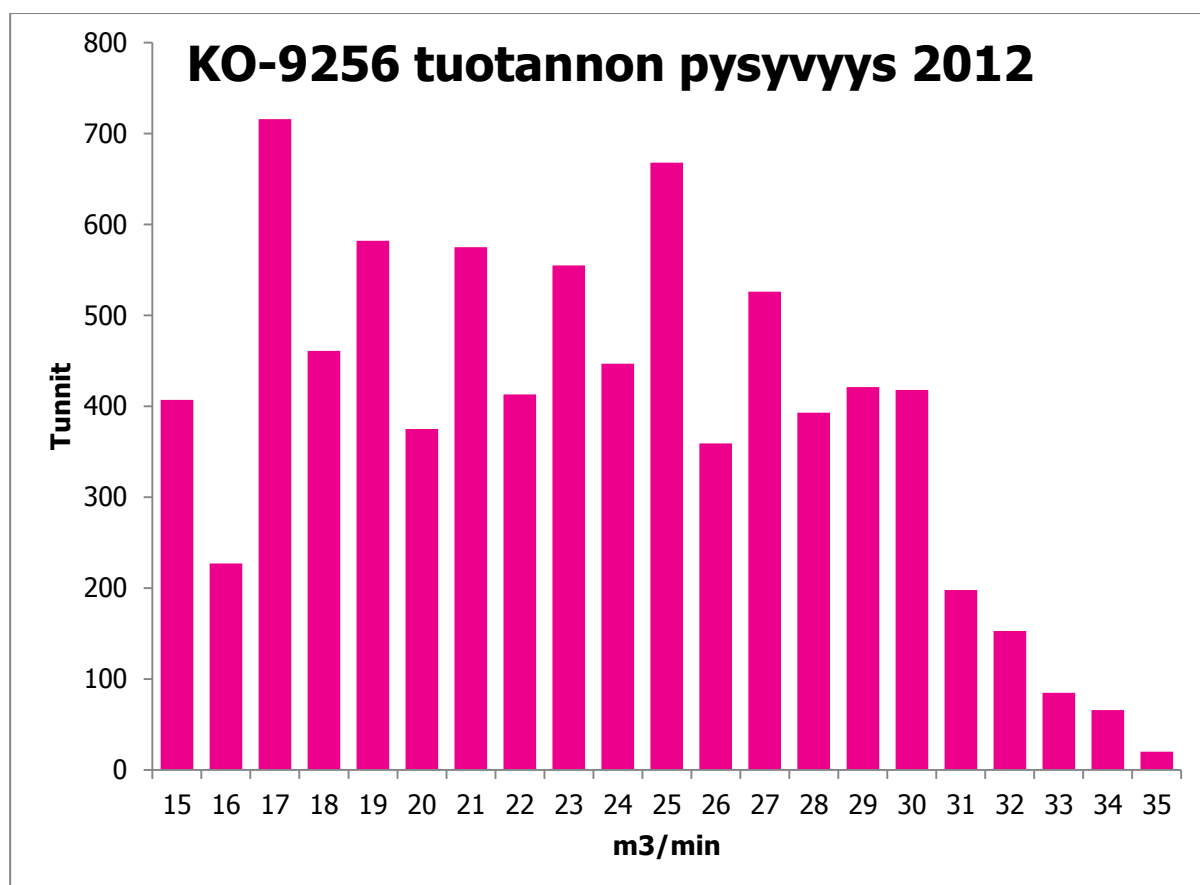


Kuva 5. Pumpun ominaiskuvaaja (Nostokoneet ja pumpput, s.64)

5.1 KO-9256 KLOORIDIOKSIDILAITOKSEN KOMPRESSORI

Kompressorin tuottaman ilman sekaan ajetaan rikkidioksidiakaasua, jotka yhdessä johdetaan klooridioksidinvalmistuksessa käytettävän reaktorin pohjaan. Kompressorin muodostamaa painetta säädetään ohivirtauksella, joka johdetaan kompressorin imupuolelle.

Kompressorin (tyhjäpumppu) pyörimisnopeus on 1000 rpm. Pumpun toimittajan ominaiskäyrän perusteella kompressorin maksimituotto näillä kierroksilla on noin 36 m³/min. Kompressorin tuotanto vuonna 2012 on liikkunut melko tasaisesti 15m³/min ja 30m³/min välillä, jolloin kyseiseen sovellukseen sopisi hyvin kierrosnopeussäätöinen käyttö (kuva 6).



Kuva 6. Klooridioksidilaitoksen kompressorin ajallinen tuotantojakauma

Paineen asetusarvo säädetty 65 kPa ja se on pysynyt lähes vakiona vuoden vertailujaksolla. Energian säästö on laskettu vertaamalla 26.4.2013 (25m³/min, 61,9 kW) mitattua tehontarvetta moottorin hyötysuhde 95 % huomioon ottaen sekä valmistajan ilmoittamia akselitehon tarpeita eri pyörimisnopeuksilla. Tuotannon pysyvyys on otettu huomioon kierroslukusäätöisen käytön osalta. Vakionopeudella pyörivän käytön tehontarve oletetaan pysyvän samana eli 58,8 kW.

Käyttötunnit (15–30 m ³ /min)	7543h	
Tehon tarve vakionopeudella (1000 rpm)	443 MWh/a	
Tehon tarve nopeussäätöisenä (540-870rpm)	212 MWh/a	säästö prosentteina 52 %.
Tehon tarve vakionopeudella (820 rpm)	301 MWh/a	säästö prosentteina 32 %.

Muuttamalla kompressorin käytön kierrosnopeudeksi 820rpm säästöä kertyy 142 MWh/a, mikä tarkoittaa 7088 euroa/a, sähkönhinnalla 0,05 €/kWh.

Uusi moottori IE2, 75kW, 820 r/min	4355 €
Takaisinmaksuaika	n. 0,6 vuotta

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyisi 231 MWh/a ja 11 564 euroa/a, laskennassa käytetyllä sähkönhinnalla 0,05 €/kWh.

Sähkömoottorin hinta: IE3, 75kW, 1000 r/min	5753 €
Taajuusmuuttaja* 132kW, 155A, 690V	7675 €
Kokonaisinvestointi	13 428 €
Takaisinmaksuaika kierrosnopeussäätöisenä	n. 1,2 vuotta

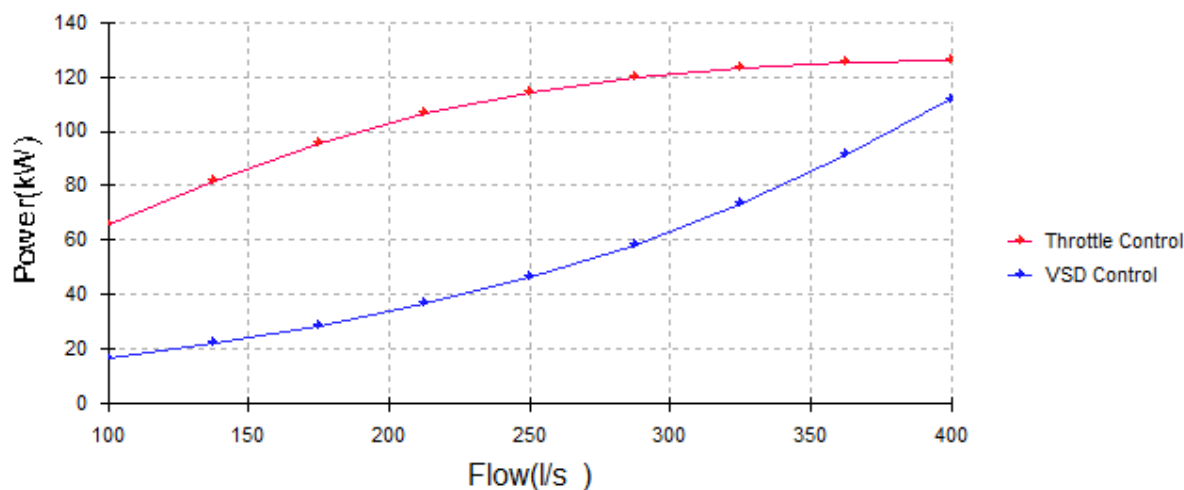
* taajuusmuuttajan sopivuus varmistettava moottorikohtaisesti

5.2 PU- 8411 LAJITTELUN LAIMENNUSPUMPPU 2

Pumpulla laimennetaan painepesurin (Rauma-Repola) syöttövirtausta. Pumpulta tulevaa virtausta säädetään kuristamalla painepuolen venttiiliä, venttiilin ohjaus keskimäärin 59 % vuoden 2012 ajossa. Tehomittaus on pumpulle suoritettu 26.4.13. jonka mukaan pumpun ottama teho mittaushetkellä oli 100 kW, venttiilin ohjauksella 58 % ja virtauksella 172 l/s. Pumpulta ajetaan laimennusta myös toiseen kohteeseen vakio venttiiliohjauksella 25 %. Yhteensä virtaus on n. 238 l/s.

Pumpun (TRU-35, 990 r/min) ominaiskäyrän perusteella pumppu toimii hyötysuhdealueella η 70–75 %. Kuvassa 7 ja 8 on esitetty vertailu kierrosnopeussäätöisen ja kuristussäätöisen pumppauksen muutoksista tehon tarpeeseen ja energiankulutukseen.

Mechanical load plots

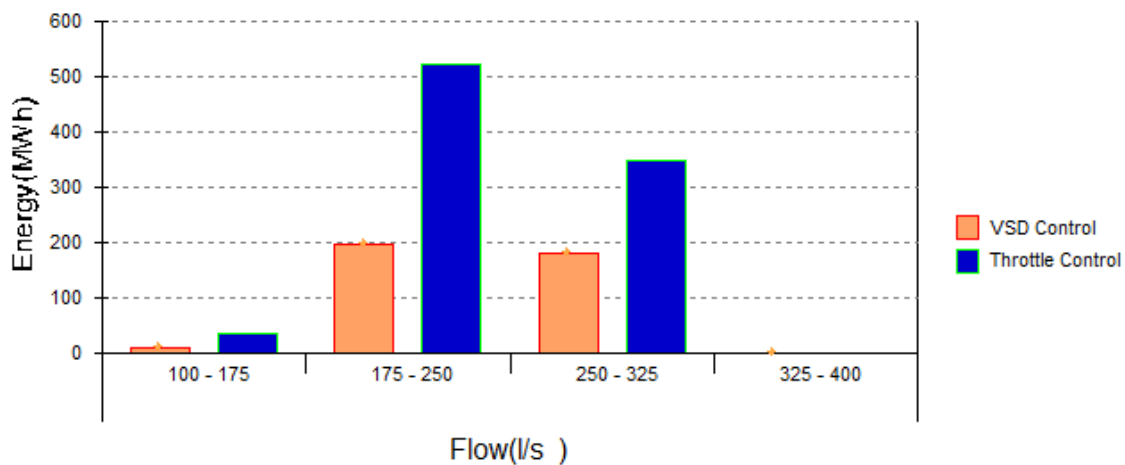


Kuva 7. Tehon tarve vertailu kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)

Shaft Power requirements as a function of flow

Quantity	VSD Control			Throttle Control		
Flow(l/s)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)
100,00	10,8	547,3	16,6	37,0	990,0	66,0
175,00	12,5	613,4	28,4	35,5	990,0	95,7
250,00	15,1	712,1	46,2	33,5	990,0	114,0
325,00	18,6	826,7	73,1	30,5	990,0	123,2
400,00	23,0	949,8	111,8	26,0	990,0	126,0

Energy Comparisons



Kuva 8. Energiankulutus vertailu kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)

Selected motors are

VSD Control 132 kW 991 RPM 95,8 %

Throttle Control 132 kW 991 RPM 95,8 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	Difference (kW)
100,00	2,43	18,99	3,10	69,1	50,11
175,00	2,97	31,37	4,08	99,82	68,45
250,00	3,91	50,07	4,87	118,84	68,78
325,00	5,52	78,63	5,32	128,54	49,91
400,00	8,34	120,13	5,46	131,42	11,29

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
100,0 - 175,0	411,0	24,4
175,0 - 250,0	4782,0	328,1
250,0 - 325,0	2805,0	166,5
325,0 - 400,0	0,0	0,0
Total Energy savings(MWh)		518,9

Kuva 9. Energiansäästölaskelma ABB:n ohjelmalla DrivePump 1.2.

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyy 519 MWh/a (kuva 9.) ja 25 946 euroa/a sähkönhinnalla 0,05 €/kWh.

Sähkömoottorin hinta: IE3, 90kW, 1000 r/min 10 032 €

Taajuusmuuttaja* 90kW, 690V 7675 €

Yhteensä 17 707 €

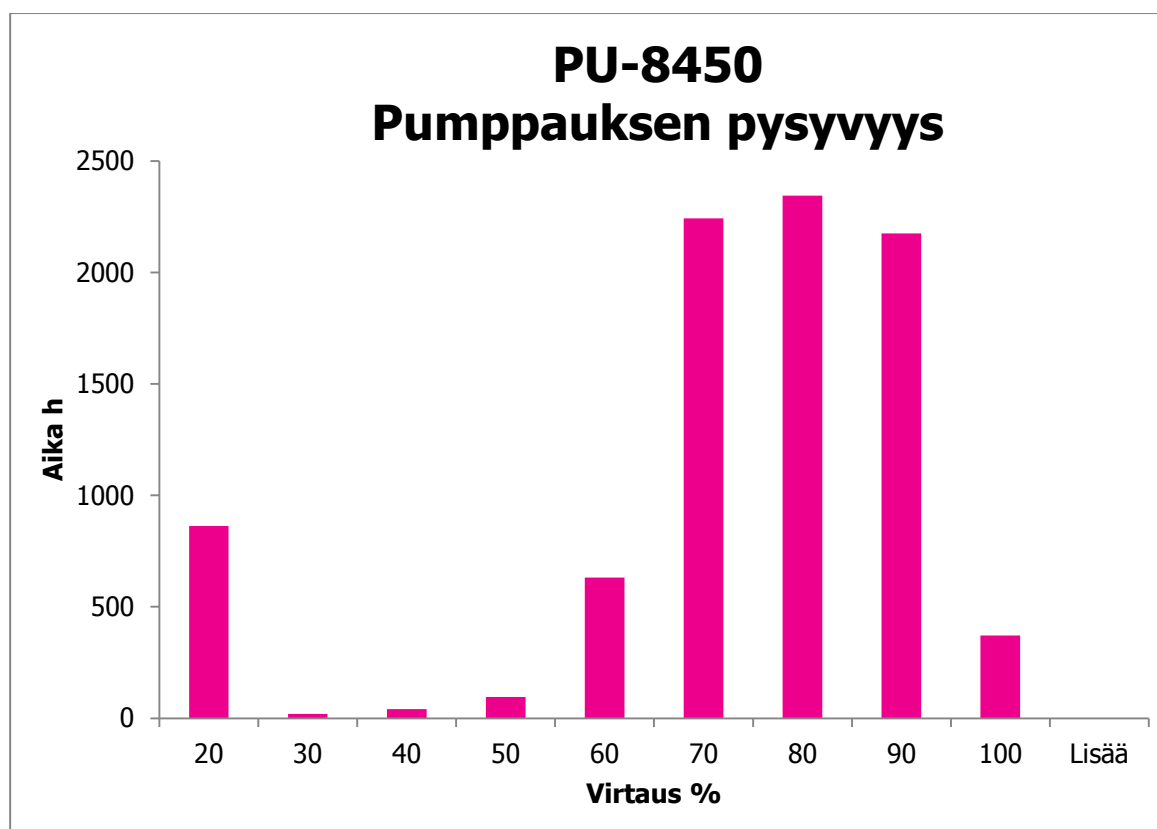
Takaisinmaksuaika, korko 0 % 0,7 vuotta

*Taajuusmuuttajan soveltuvuus on tarkastettava moottorikohtaisesti.

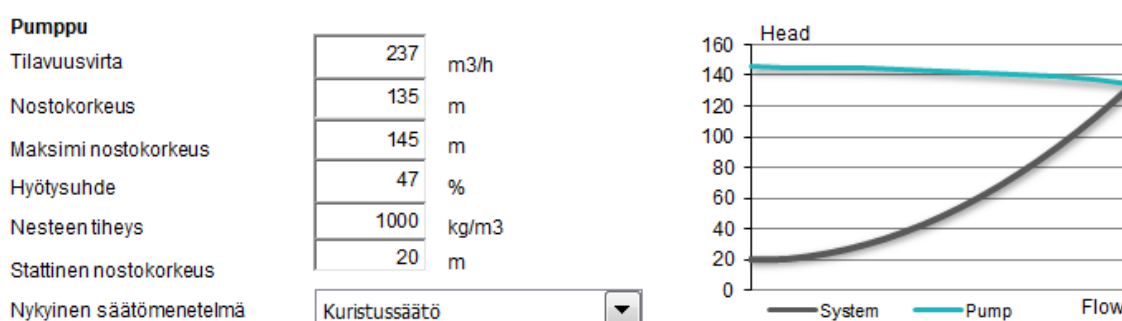
5.3 PU- 8450 HAPPIVAIHEEN SYÖTTÖPUMPPU

Happivaiheen tuotantoa säädetään kuristamalla PU- 8450 painepuolen määräsäätö venttiiliä. Virtaus happivaiheeseen on normaalisti yli 70 % maksimista (kuva 10). Tehomittaus pumpulle on suoritettu 29.4.13. Pumpun ottama teho mittaushetkellä 214 kW, venttiilin ohjaus 65 % ja virtaus 73 l/s. Moottorin teho on välitetty pumpulle lieriövaihteella, jonka välityssuhde on 1:4. Vaihteen hyötysuhde on yleensä hyvä yli 94 %.

Pumpun (MCA32-100) ominaiskäyrää ei kyselyistä huolimatta luovutettu pumpun valmistajan toimesta, joten oli muodostettava laskennallinen pumppukäyrä ABB:n PumpSave 5.1 ohjelman avulla (kuva 12). Tehomittauksen perusteella sakeamassapumppauksen hyötysuhde on heikko, jopa alle 50 %.



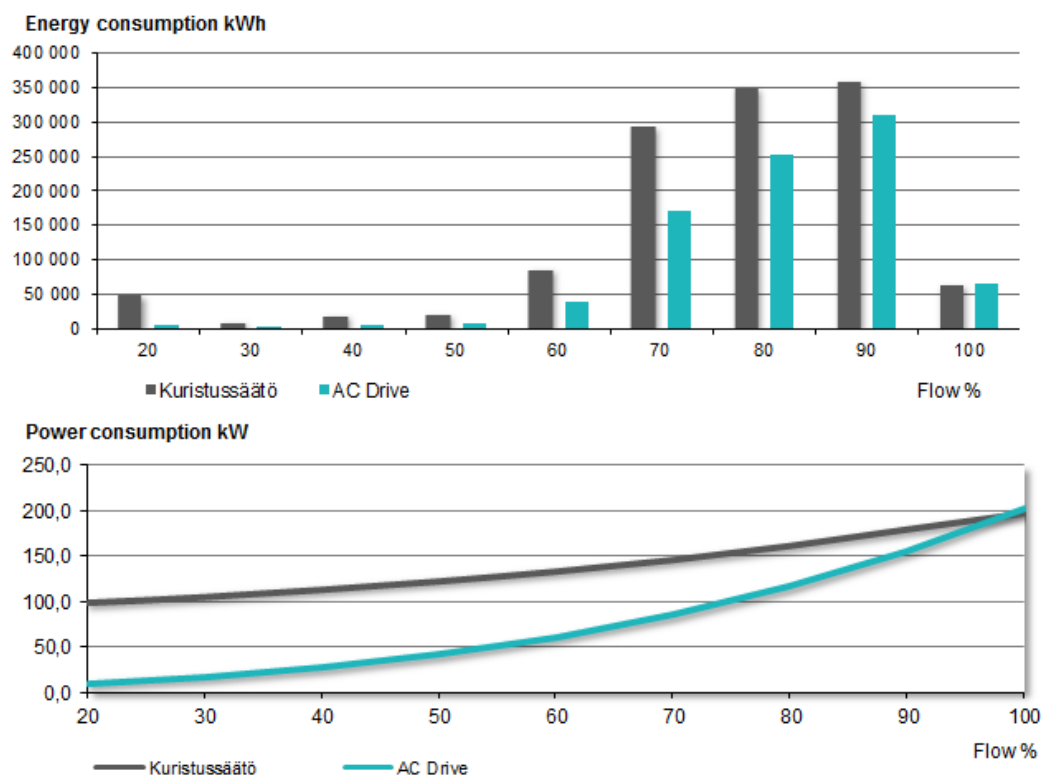
Kuva 10. PU-8450 kuristussäädöllä ajetun virtauksen ajallinen jakauma



Kuva 11. PU-8450 Laskennallinen pumppukäyrä (Pump Save 5.1)

Energiansäästö

Vuotuinen energiansäästö	395	MWh
Energiankulutus	1 248	
nyky menetelmällä		MWh
parannetulla menetelmällä	853	MWh
Säästö prosentteina	31,6	%



Kuva 12. Energiankulutus vertailu kierrosnopeussäätöisen ja kuristussäädön välillä

Suuntaa antavat laskelmat on tehty ABB:n ohjelmalla PumpSave 5.1 (kuva 12).

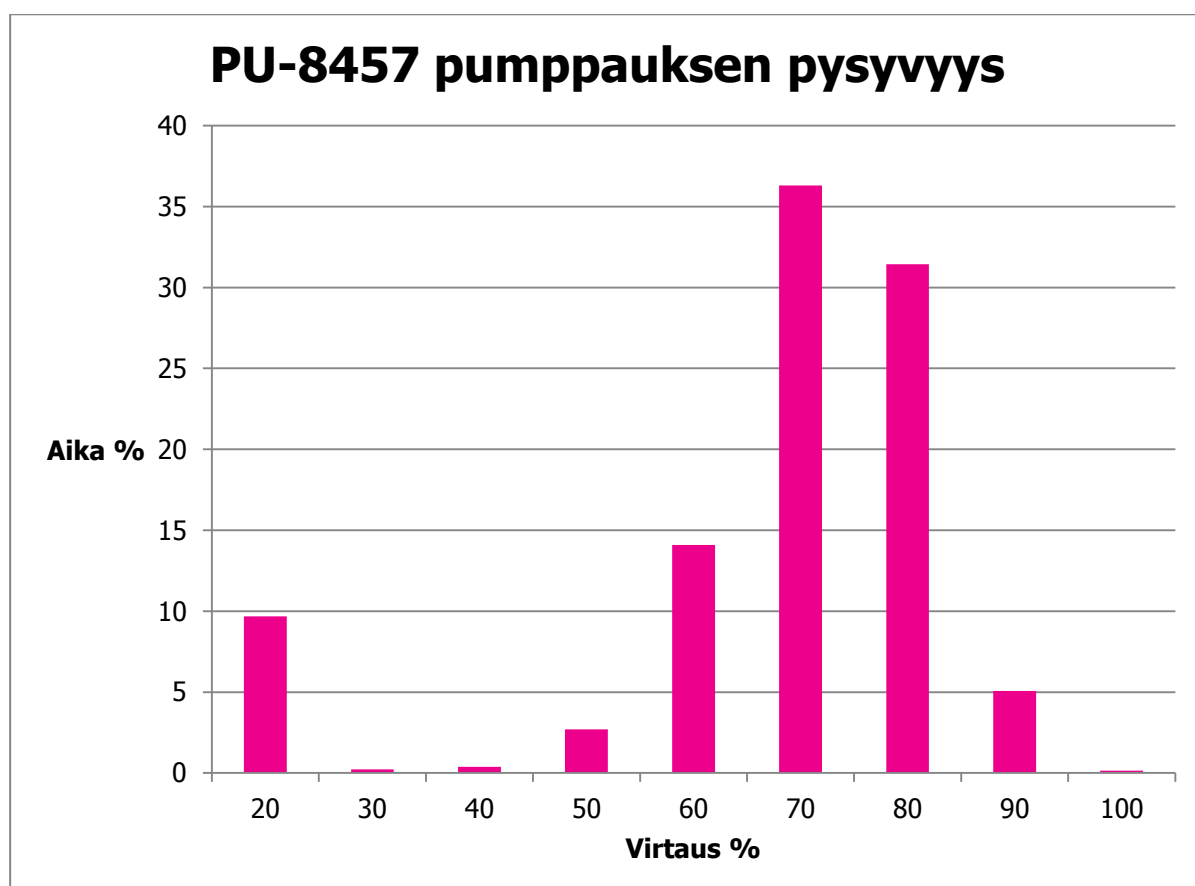
Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyy 395 MWh/a, mikä tarkoittaa 19 738 euroa/a sähkönhinnalla 0,05 €/kWh.

Sähkömoottorin hinta: IE3, 315 kW, 1500 r/min	13 600 €
Taajuusmuuttaja)* 315 kW, 690V	12 140 €
Yhteensä	25 750 €
Takaisinmaksuaika, korko 0 %	1,3 vuotta

*)Taajuusmuuttajan soveltuvuus on tarkistettava moottorikohtaisesti.

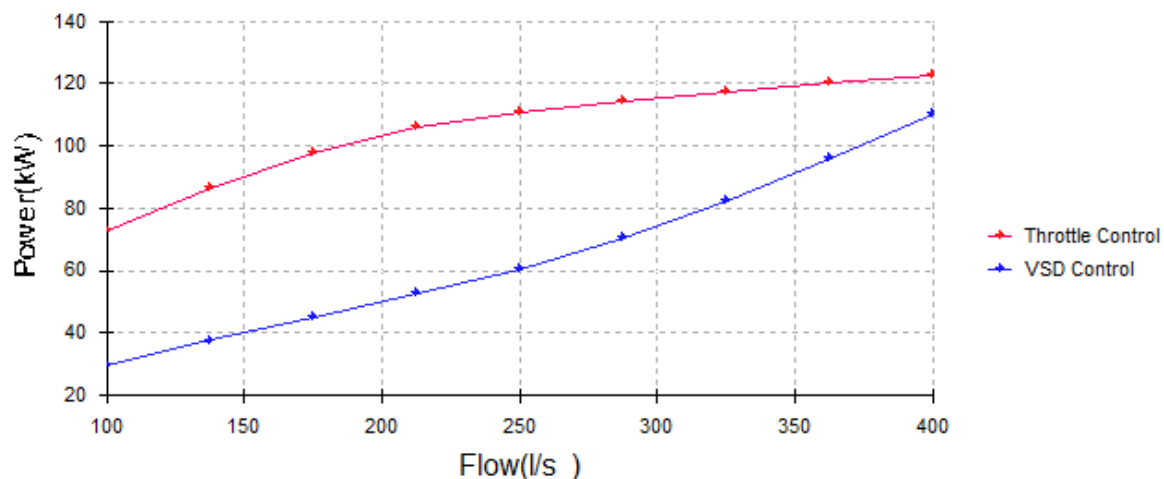
5.4 PU- 8457 GF-PESURIN SYÖTTÖPUMPPU

GF pesurin syöttövirtausta ohjataan kuristamalla määräsäätöventtiiliä. Virtaus pesurille liikkuu tuotannon mukaan välillä 200 - 250 l/s. Pysyvyysdiagrammista päätellen kierrosnopeussäätö soveltuisi hyvin tähän positioon, koska virtaus liikkuu melko laajalla alueella (kuva 14). Tehomittaus pumpulle on suoritettu 29.4.13. Pumpun ottama teho mittaushetkellä 107 kW, venttiilin ohjaus 83 % ja virtaus 201 l/s. Pumppu (APP43-250) toimii kohtuullisen hyvällä 70 -80 % hyötysuhde alueella valmistajan ominaiskuvaajan mukaan. Kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön ero tehon tarpeessa on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. PU-8457 kuristussäädöllä ajetun virtauksen ajallinen jakauma.

Mechanical load plots



Kuva 14. Kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön tarvitsema teho eri virtauksilla (Drive Pump 1.2)

Selected motors are

VSD Control 132 kW 1487 RPM 95,8 %

Throttle Control 132 kW 1487 RPM 95,8 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power Difference (kW)
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	
100,00	2,95	32,65	3,34	76,07	43,42
175,00	3,71	48,74	4,20	102,09	53,35
250,00	4,60	65,14	4,75	115,69	50,56
325,00	5,99	88,30	5,04	122,41	34,11
400,00	8,15	118,45	5,30	127,93	9,48

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
100,0 - 175,0	4237,0	205,0
175,0 - 250,0	3761,0	195,4
250,0 - 325,0	0,0	0,0
325,0 - 400,0	0,0	0,0
Total Energy savings(MWh)		400,4

Kuva 15. Energiansäästölaskelma ABB:n ohjelmalla Drive Pump 1.2.

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyy 400 MWh/a (kuva 15.) ja 20 020 euroa/a sähköhinnalla 0,05 €/kWh.

Sähkötöimöörin hinta: IE3, 132 kW, 1500 r/min 6726 €

Taajuusmuuttaja)* 90kW, 690V 8032 €

Yhteensä 14 758 €

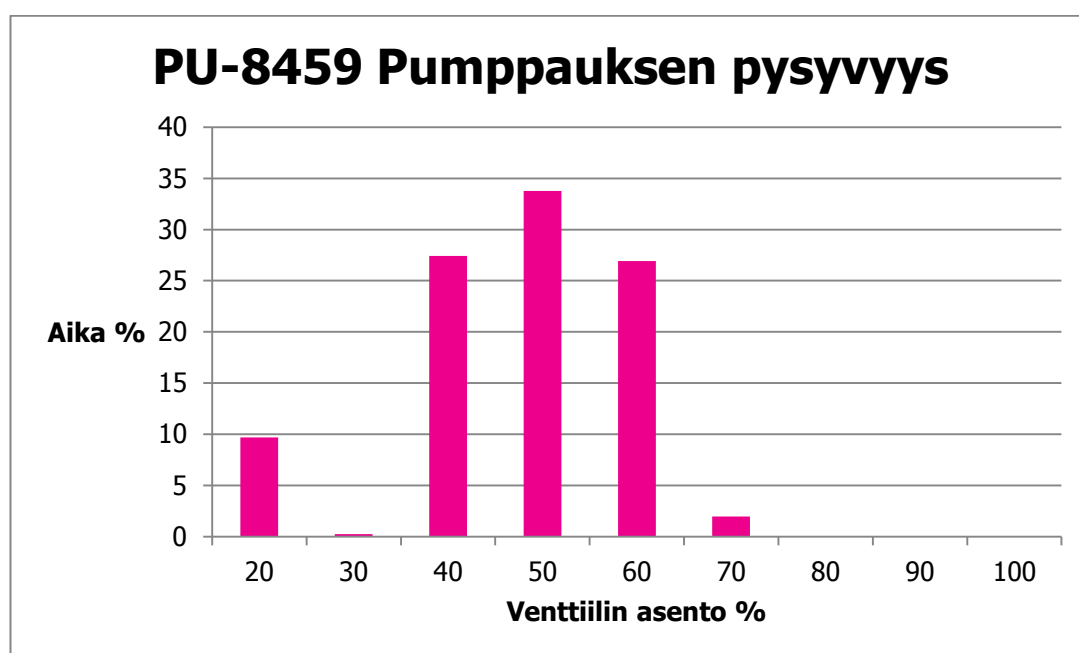
Takaisinmaksuaika, korko 0 % 0,7 vuotta

)*Taajuusmuuttajan soveltuvuus tarkistettava moottorikohtaisesti

5.5 PU- 8459 GF-SAOSTIMEN ETULAIMENNUSPUMPPU

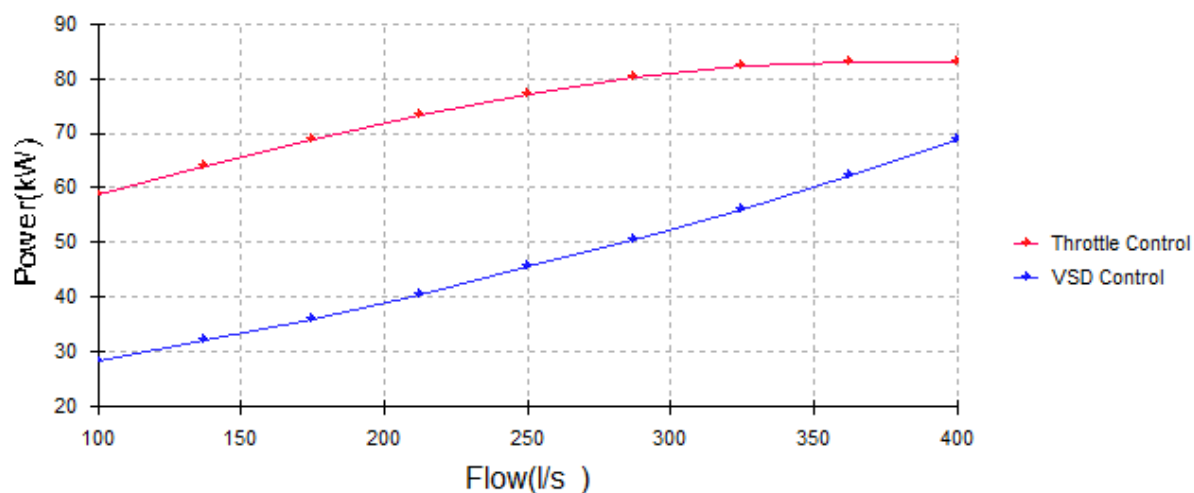
Pumpun virtausta säädetään kuristamalla painepuolen venttiiliä, venttiilin ohjaus liikkunut vuoden 2012 ajossa välillä 26–57 %. Tehomittaus pumpulle on suoritettu 26.4.13. Pumpun ottama teho mitaushetkellä 67,2 kW, venttiilin ohjauksella 41 %.

Pumpun (APP52-350, 980 r/min) ominaiskuvaajan perusteella pumppu toimii hyötysuhdealueella η 65 -75 %. Pumppauksen pysyvyys on määritetty säätöventtiilin asentotiedoista (kuva 16).



Kuva 16. PU-8459 säätöventtiilin avautumiskulman ajallinen jakauma

Mechanical load plots

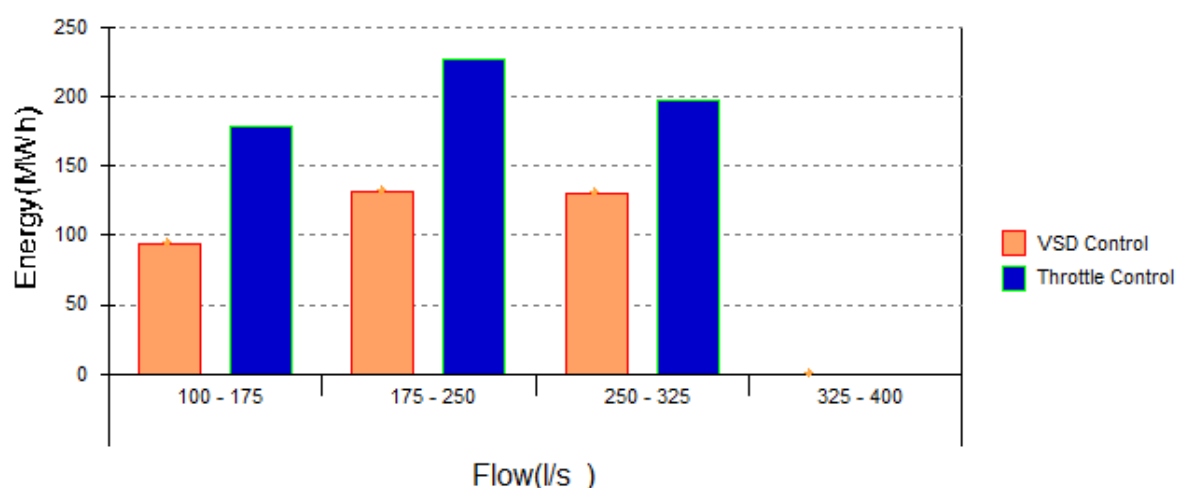


Kuva 17. Kuristussäädön ja virtaussäädön tarvitsema teho eri virtauksilla (Drive Pump 1.2)

Shaft Power requirements as a function of flow

Quantity	VSD Control			Throttle Control		
Flow(l/s)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)
100,00	14,1	752,5	28,5	24,0	980,0	58,9
175,00	14,2	769,1	36,0	23,6	980,0	68,7
250,00	14,4	804,7	45,5	22,5	980,0	77,1
325,00	14,7	860,0	56,0	20,6	980,0	82,4
400,00	15,0	918,8	68,7	18,0	980,0	83,1

Energy Comparisons



Kuva 18. Akselitehon ja energiankulutuksen vertailu kierrosnopeussäätöisen ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)

Selected motors are

VSD Control 75 kW 990 RPM 95,1 %

Throttle Control 90 kW 992 RPM 95,5 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power Difference (kW)
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	
100,00	2,52	30,98	2,78	61,64	30,67
175,00	3,02	38,97	3,18	71,92	32,96
250,00	3,73	49,25	3,56	80,67	31,42
325,00	4,55	60,52	3,83	86,24	25,72
400,00	5,64	74,31	3,87	86,96	12,65

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
100,0 - 175,0	2667,0	84,8
175,0 - 250,0	2967,0	95,5
250,0 - 325,0	2364,0	67,5
325,0 - 400,0	0,0	0,0
Total Energy savings(MWh)		247,9

Kuva 19. Kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön vertailu ja energiansäästölaskelma ABB:n ohjelmalla DrivePump 1.2

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyisi 248 MWh/a, mikä tarkoittaa 12 395 euroa/a sähköhinnalla 0,05 €/kWh. Kuvassa 18 ja 19 on esitetty teho- ja energiankulutusvertailu kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön välillä.

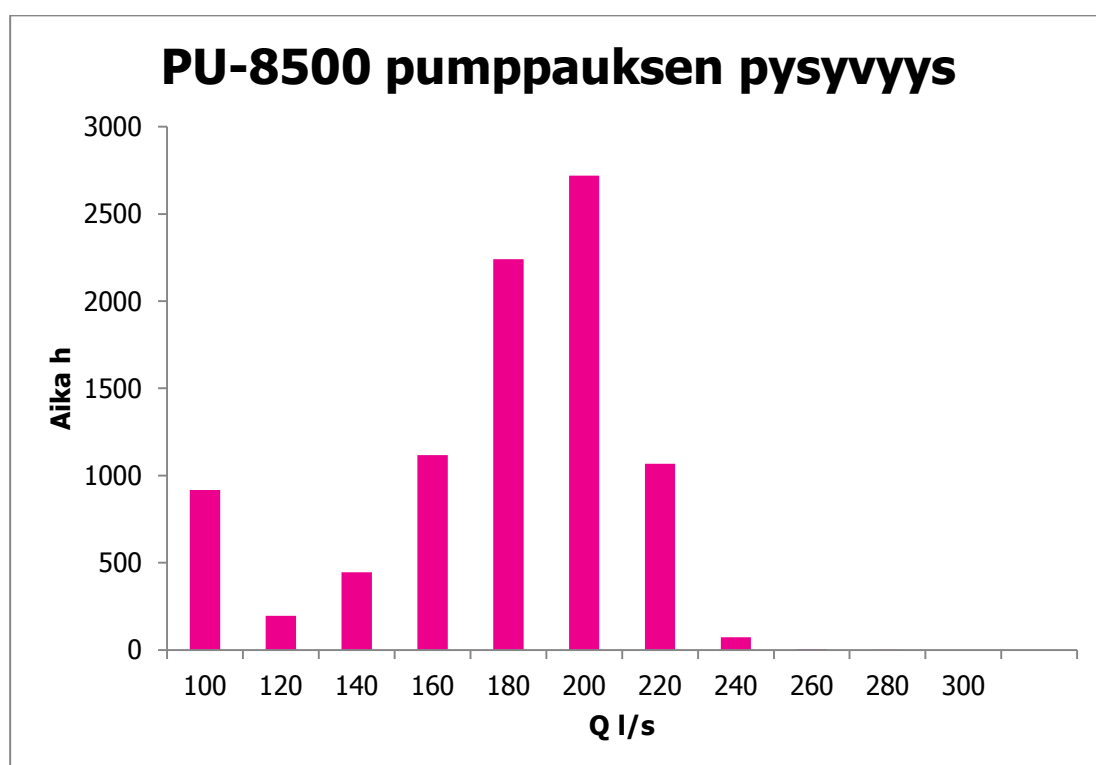
Sähkömoottorin hinta: IE3, 90kW, 1000 r/min	6924 €
Taajuusmuuttaja)* 90kW, 690V	6493 €
 Yhteensä	 13 417 €
Takaisinmaksuaika	1,1 vuotta

)*Taajuusmuuttajan soveltuvuus tarkastettava moottorikohtaisesti.

5.6 PU- 8500 VALKAISUN LAJITTELUN SYÖTTÖPUMPPU

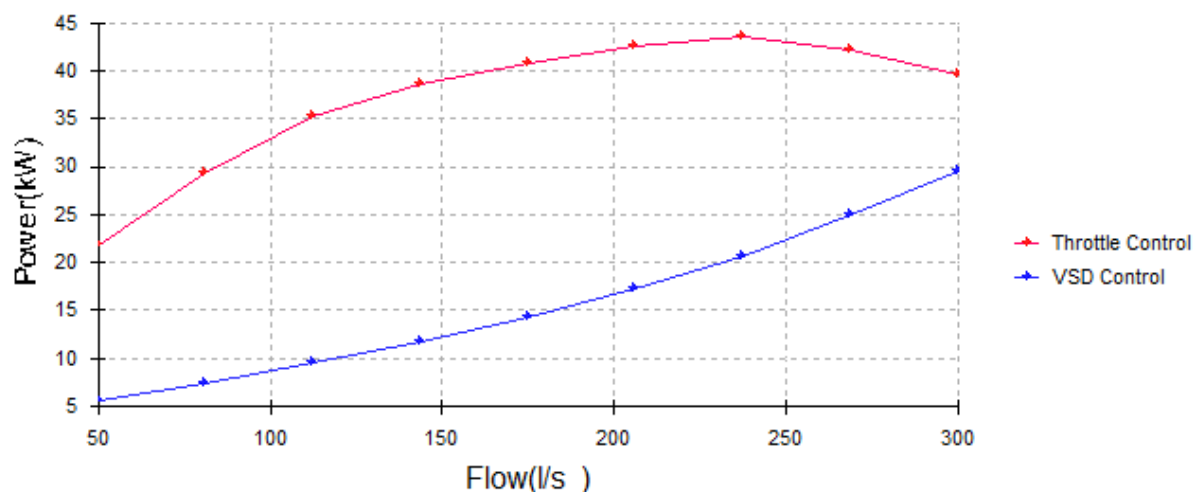
Pumpun virtausta säädetään kuristamalla painepuolen venttiiliä, venttiilin ohjausta on säädetty välillä 27 -58 % vuoden 2012 ajossa ja virtaus on liikkunut laajalla alueella 160 -220 l/s (kuva 20). Tehomittaus pumpulle on suoritettu 26.4.13. Pumpun ottama teho mittaushetkellä 43,8 kW, venttiilin ohjauksella 50 %.

Pumpun (TRS-35, 985 r/min) ominaiskuvaajan perusteella pumppu toimii hyötysuhdealueella η 70 - 77 %.



Kuva 20. PU-8500 kuristussäädöllä tuotetun virtauksen ajallinen jakauma.

Mechanical load plots

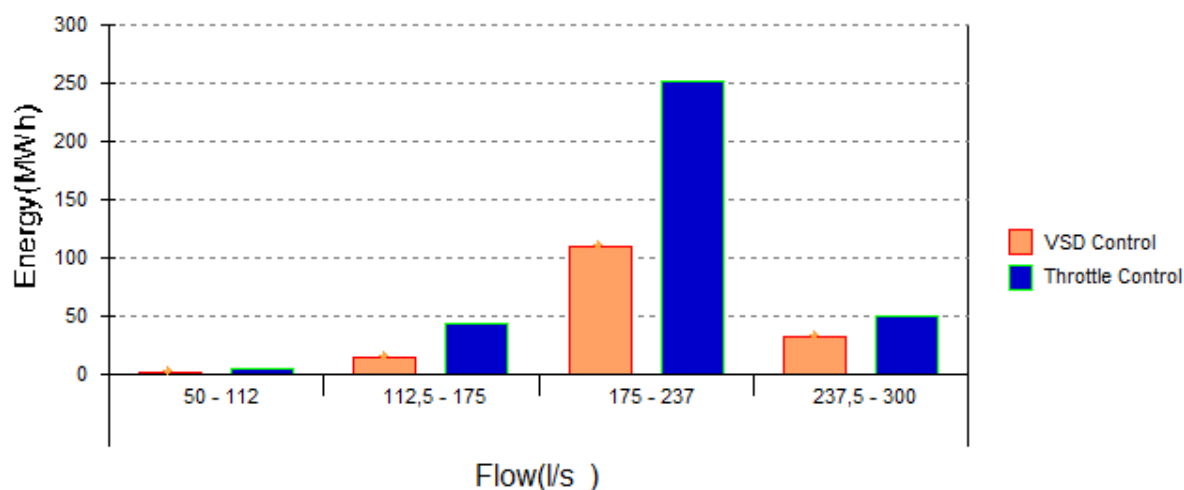


Kuva 21. Tehontarve vertailu kierrosnopeussäätöisen ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)

Shaft Power requirements as a function of flow

Quantity	VSD Control			Throttle Control		
	Flow(l/s)	Head(m)	Speed(RPM)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)
	50,00	6,0	552,3	20,0	985,0	21,8
	112,50	6,2	604,3	18,6	985,0	35,3
	175,00	6,5	678,6	16,8	985,0	40,7
	237,50	6,9	790,3	14,5	985,0	43,5
	300,00	7,5	910,4	10,5	985,0	39,6

Energy Comparisons



Kuva 22. Akselitehon ja energiankulutuksen vertailu kierrosnopeussäätöisen ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)

Selected motors are

VSD Control 55 kW 1480 RPM 94,6 %

Throttle Control 45 kW 990 RPM 94,4 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	Difference (kW)
50,00	0,97	6,48	1,41	23,21	16,73
112,50	1,27	10,77	2,03	37,35	26,58
175,00	1,69	15,96	2,37	43,11	27,14
237,50	2,24	22,88	2,56	46,04	23,15
300,00	3,09	32,67	2,29	41,91	9,25

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
50,0 - 112,5	133,0	2,9
112,5 - 175,0	1072,0	28,8
175,0 - 237,5	5648,0	142,0
237,5 - 300,0	1145,0	18,5
Total Energy savings(MWh)		192,3

Kuva 23. Energiansäästölaskelma ABB:n ohjelmalla DrivePump 1.2

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyi 192 MWh/a mistä seuraa säästöä 9613 euroa/a sähkönhinnalla 0,05 €/kWh. Kuvissa 21 ja 22 on esitetty vertailua valittujen säätötapojen välillä. Kuvan 23 taulukosta nähdään säästö eri virtauksilla.

Sähkömoottorin hinta: IE3, 75 kW, 1500 r/min	3853 €
Taajuusmuuttaja)* 75kW, 690V	5800 €
 Yhteensä	 9653 €
Takaisinmaksuaika	1 vuotta

)*Taajuusmuuttajan soveltuvuus tarkastettava moottorikohtaisesti.

5.7 PU- 8501 MODUF - LAJITTIMEN SYÖTTÖPUMPPU

Pumpun painepuolella olevalla käsin ohjattavalla rauhoitusventtiilillä säädetään Moduf- lajittimen syöttöpainetta, Rauhoitusventtiilin ohjaus on ollut välillä 20–54% vuoden 2012 ajossa.

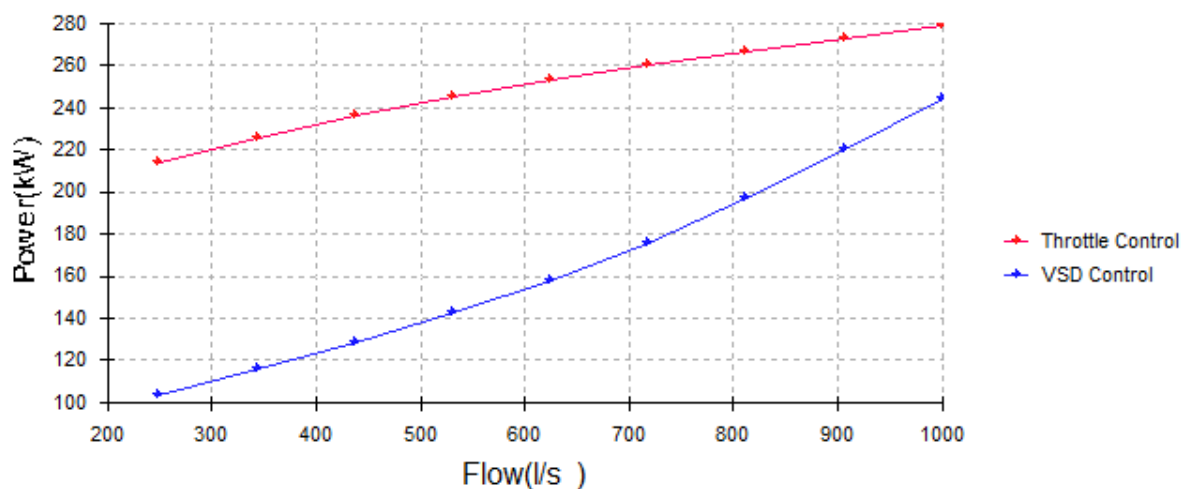
Pumpun (Z-X60U-2, 740 r/min) ominaiskäyrän perusteella pumppu toimii hyötysuhdealueella η 60 - 75 %.

Pumpulta tarvittava virtaus vuonna 2012 on keskimäärin ollut 460 l/s ja maksimi virtaus 569 l/s.

Pumpun maksimituotto nykyisellä juoksupyörällä on lähes 1000 l/s ja nostokorkeuttakin vielä 25m.

Vaadittava paine modufilla on ollut n. 160 kPa, putkisto sekä venttiilin painehäviö (30 Kpa) huomioon ottaen nostokorkeutta pumpulta vaaditaan n. 23 m virtauksella 500 l/s. Juoksupyörän pienentämisellä 625mm 590mm:n saavutettaisiin n. 25 % tehon tarpeen alenema, joka vuositason toisi noin 394 MWh ja 19 700 euroa säästöä sähköhinnalla 50 €/MWh.

Mechanical load plots

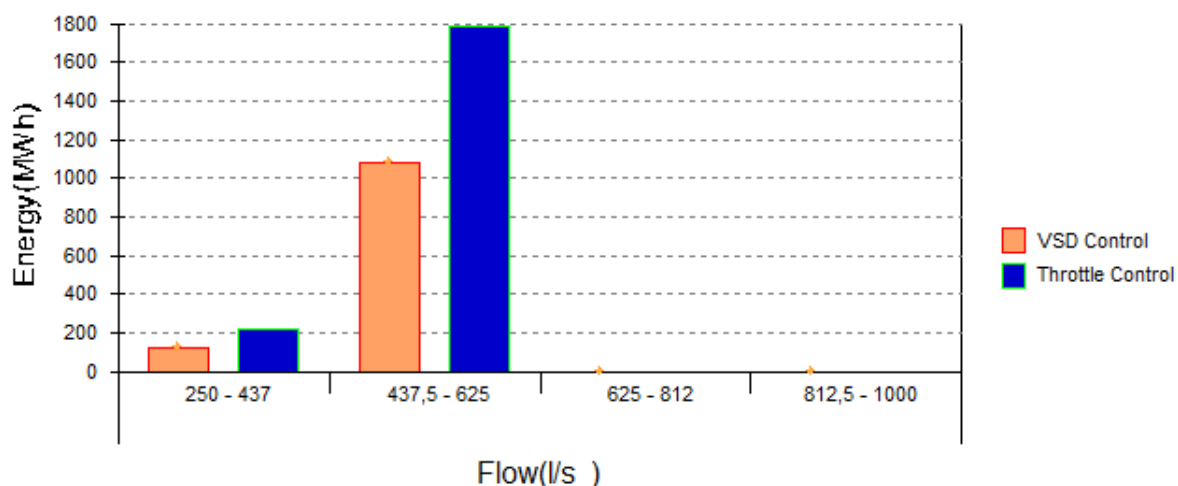


Shaft Power requirements as a function of flow

Quantity	VSD Control			Throttle Control		
Flow(l/s)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)	Head(m)	Speed(RPM)	Shaft Power(kW)
250,00	20,1	574,2	103,9	34,0	740,0	213,8
437,50	20,4	595,5	128,7	32,5	740,0	236,2
625,00	20,8	625,1	157,7	30,5	740,0	253,1
812,50	21,3	663,7	196,6	28,0	740,0	266,5
1000,00	22,0	705,4	244,1	25,0	740,0	278,7

Energy Comparisons

Kuva 24. Vertailu kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)



Selected motors are

VSD Control 315 kW 744 RPM 96,4 %

Throttle Control 315 kW 744 RPM 96,4 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power Difference (kW)
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	
250,00	8,25	112,19	7,80	221,61	109,42
437,50	9,47	138,18	8,54	244,79	106,61
625,00	11,03	168,78	9,15	262,23	93,45
812,50	13,31	209,96	9,66	276,17	66,21
1000,00	16,54	260,66	10,16	288,85	28,19

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
250,0 - 437,5	949,0	102,5
437,5 - 625,0	7049,0	705,1
625,0 - 812,5	0,0	0,0
812,5 - 1000,0	0,0	0,0
Total Energy savings(MWh)		807,6

Kuva 25. Energiansäästö laskelma on tehty ABB:n ohjelmalla DrivePump 1.2

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyy 808 MWh/a, mikä on 40 381 euroa/a sähköhinnalla 0,05 €/kWh. Vertailut ja säästölaskelmat on esitetty kuvissa 24 ja 25.

Sähkömoottorin hinta: IE2, 315kW, 750 r/min 24 624 €

Taajuusmuuttaja)* 355kW, 396A, 690V 12 140€

Yhteensä 36 764 €

Takaisinmaksuaika 0,9 vuotta

Pumpun tehomittauksia ei päästy suorittamaan viollisen kytkentäkaapin oven vuoksi.

)*Taajuusmuuttajan soveltuvuus tarkastettava moottorikohtaisesti

5.8 PU- 8511 GF-SUOTIMEN ETULAIMENNUSPUMPPU

Pumpun virtausta säädetään kuristamalla painepuolen venttiiliä, venttiilin ohjaus vuonna 2012 oli välillä 10 – 40 %. Tehomittaus pumpulle on suoritettu 26.4.13. Pumpun ottama teho mittaushetkellä 39,9 kW ja venttiilin ohjaus 35 %. Taulukossa 2 on esitetty pumpun virtaukset ja nostokorkeus sekä niiden tarvitsema akseliteho.

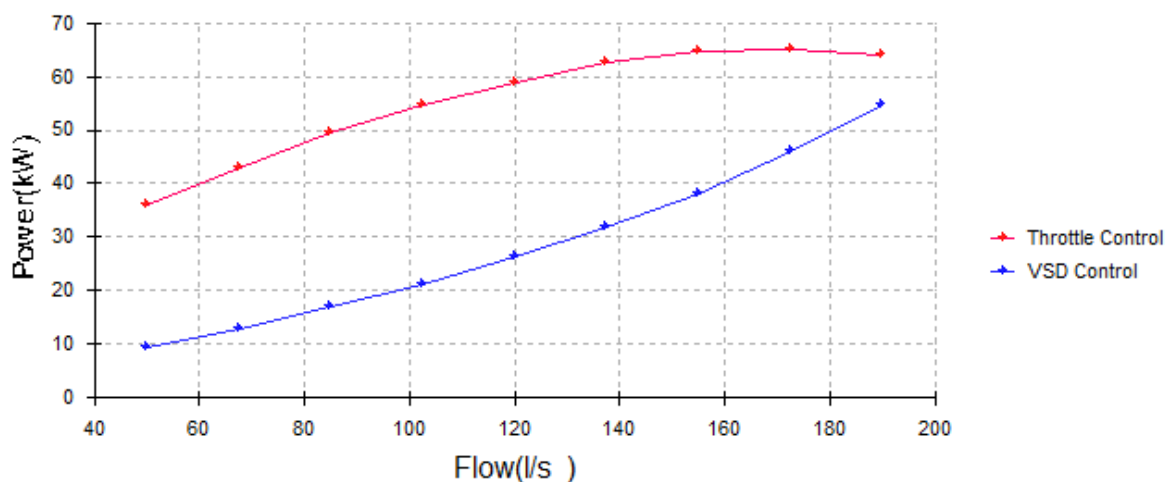
Pumpun (TLP20, 1480 r/min) ominaiskuvaajan perusteella pumppu toimii erittäin huonolla hyötysuhdealueella η 35 %. Pumpun mitoitus on reilu tarvittavaan virtaukseen nähden.

Flow(l/s)	Head(m)	Shaft Power(kW)
0	41,0	17,2
50	36,0	36,1
100	31,0	55,0
150	26,0	65,0
190	22,0	64,0

Rated Speed = 1470 RPM

Taulukko 2. Pumpun PU-8511 virtaus, nostokorkeus ja tehotiedot (Drive Pump 1.2)

Mechanical load plots



Kuva 26. PU- 8511 kierroslukusäädön ja kuristussäädön tehokäyrät. (Drive Pump 1.2)

VSD Control 73 kW 1475 RPM 94,2 %

Throttle Control 73 kW 1475 RPM 94,2 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	Difference (kW)
50,00	1,52	10,98	2,18	38,29	27,31
85,00	1,95	18,74	2,82	52,15	33,41
120,00	2,59	28,83	3,42	62,4	33,57
155,00	3,49	41,70	3,84	68,68	26,98
190,00	4,97	59,75	3,78	67,75	8,0

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
50,0 - 85,0	2318,0	70,4
85,0 - 120,0	6442,0	215,7
120,0 - 155,0	0,0	0,0
155,0 - 190,0	0,0	0,0
Total Energy savings(MWh)		286,1

Kuva 27. Energiasäästölaskelma on tehty ABB:n ohjelmalla DrivePump 1.2

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyisi 286 MWh/a, mikä on 14 306 euroa/a sähköhinnalla 0,05 €/kWh. Kuvassa 26 esitetään vertailua kierroslukusäätöiseen vaihtoehtoon ja energiasäästölaskelma on esitetty kuvassa 27.

Sähkömoottorin hinta: IE3, 90 kW, 1500 r/min 4507 €

Taajuusmuuttaja*) 160kW, 180 A, 690V 8480 €

Yhteensä 12 987 €

Takaisinmaksuaika 0,9 vuotta

*)Taajuusmuuttajan soveltuvuus on tarkastettava moottorikohtaisesti

Moottorin mitoitus taajuusmuuttajakäyttöön:

Pumpun ottama teho mittauksessa on 40kW ja momentiksi tästä seuraa 258 Nm. Kierrosnopeusalueeksi valitaan 600- 1800 rpm.

Neliöllinen kuormitusmomentti valitulla maksiminopeudella 1800 rpm ja mitatulla teholla on 372 Nm.

Kuormitettavuus kuvaajassa 1800 rpm kierroksilla on 75 % ja tällöin maksimimomentiksi tulee 496 Nm.

Tarvittava moottorin teho on tällöin 78kW, valitaan seuraava teholuokka eli 90kW 1478 rpm ja 163A.

Valitun moottorin maksimi momentti on 582 Nm.

5.9 77 ASTEISEN VEDEN PUMPUT PU-9033 JA PU-9034

Toisiolämpöjärjestelmällä otetaan talteen prosessista poistuvaa lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti ja sillä vähennetään primäärienergian tarvetta. Toisiolämpöjärjestelmä koostuu erilämpötilaisista vesistä, joita hyödynnetään prosessin eri kohteissa.

77 asteisen veden pumpput 9033 ja 9034 toimivat rinnan, jolloin yhteinen maksimivirtauskapasiteetti on n.300 l/s. Talvella 13.3.- 20.3.2012 tehtyjen mittausten perusteella virtaukset kulutuskohteisiin ovat olleet seuraavanlaisia: (mittaushetkellä talviajan keskimääräinen venttiilikulma.)

Laihalipeän jäähdytys n. 57 l/s

Paisunnan hönkälämmönvaihdin n. 53 l/s

Kuumanveden valmistus n. 23 l/s

Klooridioksidiveden lämmitys n. 46 l/s

Pumpuilta tarvittava virtaus on yhteensä n. 180 l/s. Häiriötilanteessa ja sekundaarilauhteen pinnanvarmistustilanteessa virtaus voi olla vielä suurempi.

Pumppujen käyttömoottorien ottamat tehot ja pumppujen paineet sekä hyötysuhteet 27.5.2013 tehdyssä mittauksessa olivat:

PU-9033, 67,1 kW, hyötysuhde n. 78 %, paine 2,7 bar pumpun painepuolella.

PU-9034, 44,5 kW, hyötysuhde n. 70 %, paine 2,8 bar pumpun painepuolella.

Pumpuilla on suuri kuormitusero, jolloin todennäköisesti hukataan energiaa virtausvastuksen voittamiseen, joka johtuu painepuolen linjojen kytkennästä. Kuvassa 28 nähdään pumppujen PU-9033 ja PU-9034 painepuolen linjojen kytkennät.



Kuva 28. PU-9034 ja PU- 9033 painepuolen linjojen kytkentä

Nykyisellä juoksupyörällä yhden pumpun tuotto ei tällä hetkellä riitä koko kulutusta kattamaan. Juoksupyörää vaihtamalla nykyisestä 340mm 380mm:n yhden pumpun tuotto riittäisi normaaliajossa. Tehon tarve juoksupyörää kasvattamalla lisääntyisi n. 20 kW arvoon 85 kW, jolloin nykyinen käyttömoottori saattaisi jäädä pieneksi. Tehon tarve tällä hetkellä kahdella pumpulla ajettaessa on n. 111 kW.

Juoksupyörän vaihto olisi tehtävä molemmille pumpuille. Toinen pumppu voisi olla tällöin varapumppu ja käynnistyä alhaisesta paineesta tarpeen vaatiessa. Yhden pumpun käyttäminen vaatii myös pitävät toimilaitteelliset sulkuventtiilit pumpun painepuolelle.

Hyöty:

Tehon tarve kahdella pumpulla, $111\text{kW} \cdot 7998\text{h} = 890\text{MWh}$

Tehon tarve juoksupyörän vaihdon jälkeen yhdellä pumpulla $85\text{kW} \cdot 7998\text{h} = 680\text{MWh}$

$50\text{€/MWh} \cdot 210\text{ MWh} = 10500\text{ €/a}$

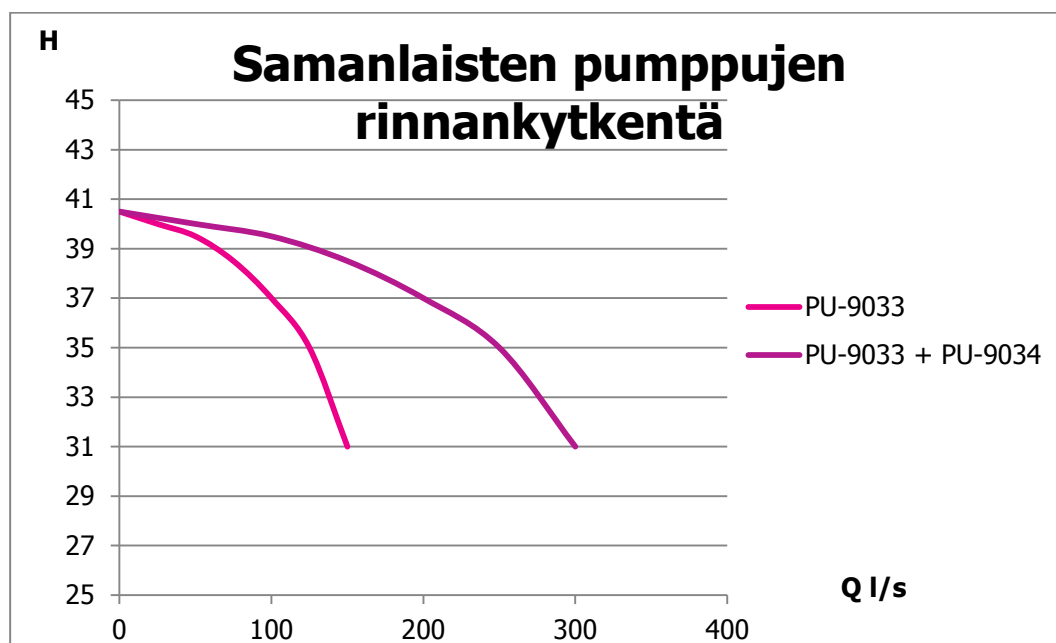
Yhden pumpun ajomallilla säästöä kertyy n.210 MWh ja 10 500 euroa vuodessa.

Toinen vaihtoehto on nostaa toisen pumpun kierrosnopeutta taajuusmuuttajakäyttöisenä, jolloin päästään samaan tulokseen kuin juoksupyörää vaihtamalla.

Rinnankytkettyjen pumppujen tuotto on huonompi kuin vastaavien pumppujen toimiminen yksittäin, koska putkiston painehäviö kasvaa tilavuusvirran suhteen toiseen potenssiin (Huhtinen, Korhonen,

Pimiä, Urpalainen, 2011, 140). Kohteeseen kannattaisikin harkita yhden suuremman taajuusmuuttajakäyttöisen pumpun asentamista kahden suhteellisen vanhan pumpun tilalle.

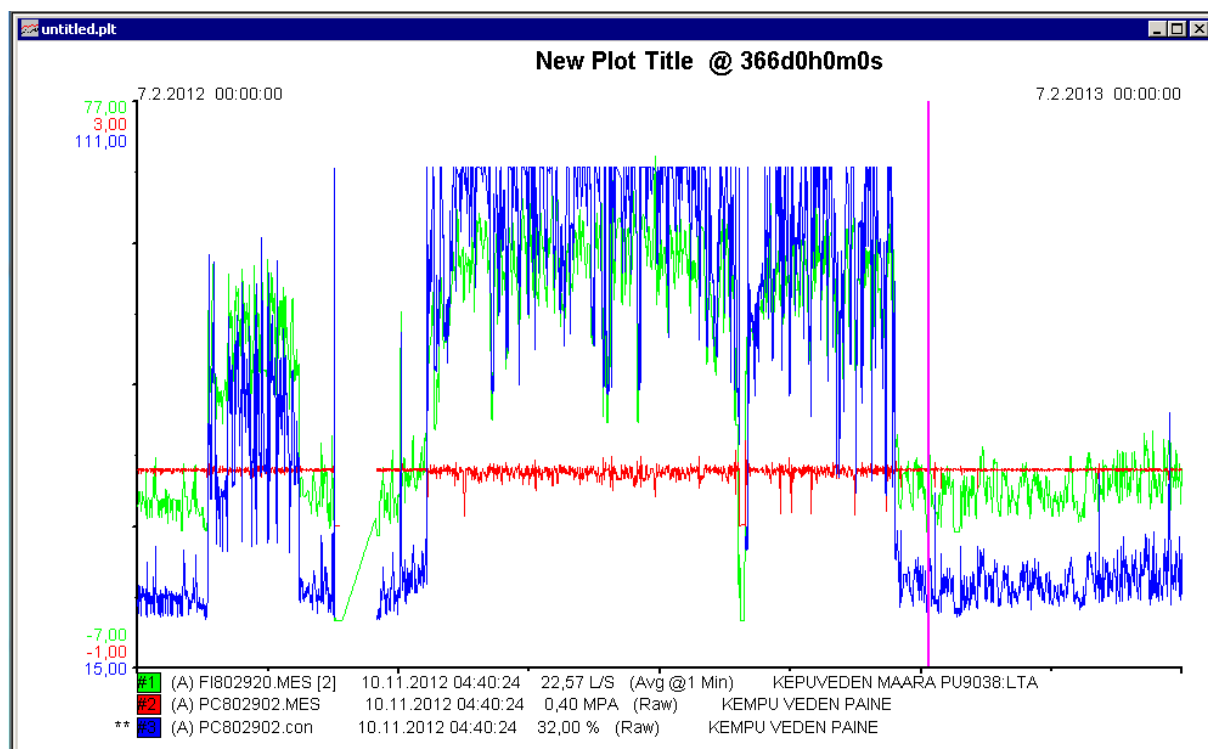
Rinnan kytkennässä pumppujen tilavuusvirta lähes kaksinkertaistuu, mutta nostokorkeus pysyy samana (kuva 29) (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2011, 140).



Kuva 29. PU-9033 ja PU- 9034 pumppukäyrän muutos rinnankytkennässä.

5.10 PU- 9038 JÄÄHDYTETYN VEDEN PAINEENKOROTUSPUMPPU

Jäähdytettyä kemiallisesti puhdistettua vettä käytetään klooridioksidilaitoksella klooridioksidinvalmistukseen, jätekaasupesurissa sekä reaktorin jäähdytyksessä. Varsinaisten veden jäähdyttimien käyttö alkaa toukokuussa järvivesien lämmettyä ja päättyy lokakuun alkupuolelle, jolloin vesien lämpötila on laskenut alle 12 °C asteen. Talviaikaan jätekaasupesurilla käytetään raakavettä, joka pienentää kemiallisesti puhdistetun veden tarvetta. Paineenkorotuspumpulla ei tällöin ole pyörimistarvetta ja se voitaisiin pysäyttää talviajaksi tai vaihtoehtoisesti voitaisiin rakentaa ohjauspiiri, jolla pumpppu käynnistyisi linjapaineen laskiessa alle käynnistysrajan. Nykyisin pumpppu käy koko talven minimi ohjauksella paine asetuksen ollessa 0,4 Mpa (Kuva 30).



Kuva 30. Pumpun PU-9038 kesä ja talviajan käyttö (PHD järjestelmä)

Pumpun ottama teho minimiohjauksella on n. 6 kW.

Säästö:

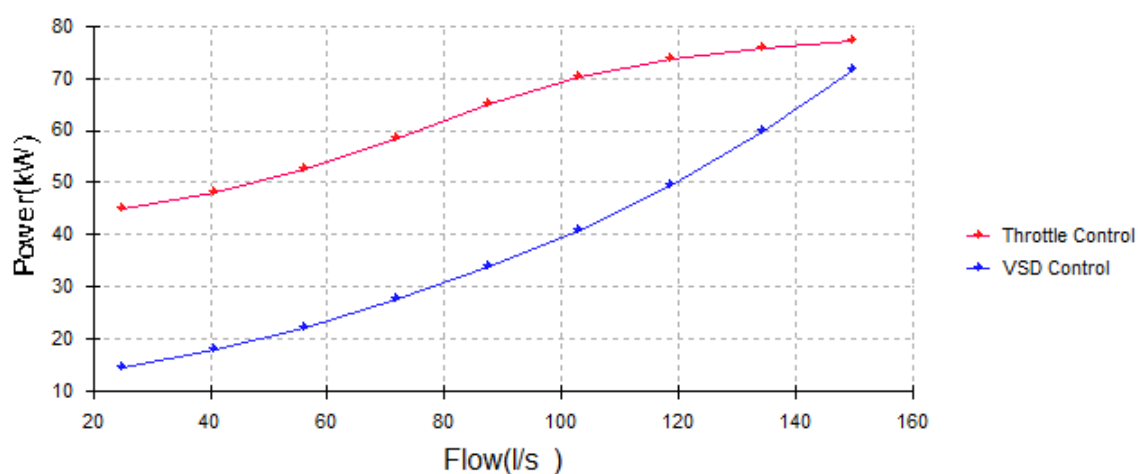
$$4000\text{h} * 6\text{kW} = 24000 \text{ kWh/a}$$

$$0,05 \text{ €/kWh} * 24000 \text{ kWh/a} = 1200 \text{ €/a}$$

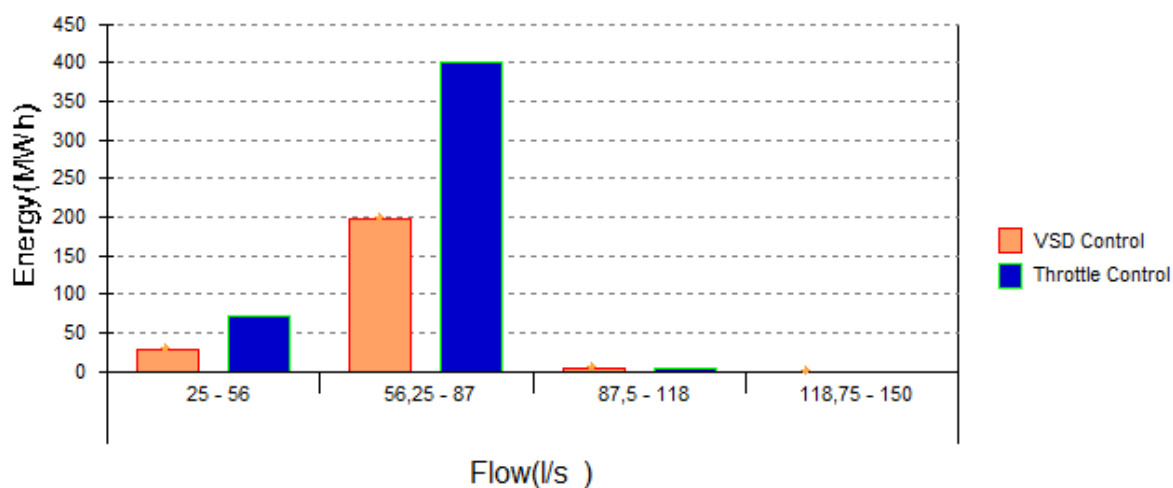
5.11 PU- 9037 KEMIALLISESTI PUHDISTETUN LÄMMITETYN VEDENPUMPPU

Pumpulla ajetaan GF suotimeen pesuvettä. GF suotimen jälkilaimennusta ajetaan, kun massa halutaan laimentaa sellutehtaan omilla vesillä kuivauskone ajoa varten. Virtausta säädetään kuristamalla määränsäätö venttiiliä. Tehomittaus pumpulle on suoritettu 27.5.13. Pumpun ottama teho mittauksessa 48 kW. Virtaama mittaushetkellä 30 l/s.

Pumpun (SRS-20, 1480 r/min) ominaiskäyrän perusteella pumppu toimii suurimman osan ajastaan huonolla hyötysuhdealueella η alle 50 %.



Kuva 31. PU-9037 tehontarve kuristus – ja kierrosnopeussäädössä (Drive Pump 1.2)



Kuva 32. Energiankulutusvertailu kierrosnopeussäädön ja kuristussäädön välillä (Drive Pump 1.2)

Selected motors are

VSD Control 95 kW 1475 RPM 94,8 %

Throttle Control 95 kW 1475 RPM 94,8 %

Electric power as a function of flow

Flow(l/s)	VSD Control		Throttle Control		Power
	Motor&Drive losses(kW)	Electric Power (kW)	Motor losses (kW)	Electric Power (kW)	Difference (kW)
25,00	1,65	16,01	2,14	47,09	31,09
56,25	2,03	24,16	2,46	54,97	30,81
87,50	2,74	36,57	3,10	68,07	31,5
118,75	3,81	53,27	3,63	77,4	24,13
150,00	5,79	77,35	3,84	80,88	3,53

Final energy savings per year

Flow(l/s)	Annual usage of flow range	Energy Savings(MWh)
25,0 - 56,3	1395,0	43,2
56,3 - 87,5	6532,0	203,5
87,5 - 118,8	71,0	2,0
118,8 - 150,0	0,0	0,0
Total Energy savings(MWh)		248,7

Kuva 33. Energiansäästölaskelma ABB:n ohjelmalla DrivePump 1.2

Vaihtamalla pumpun käyttö kierrosnopeussäätöiseksi säästöä syntyisi 249 MWh/a, mikä on 12 450 euroa/a sähköhinnalla 0,05 €/kWh. Vertailu kierrosnopeussäätöiseen vaihtoehtoon on esitetty kuvassa 31 ja 32. Energiansäästö vaihtoehtojen välillä on esitetty kuvassa 33.

Sähkömoottorin hinta: IE3, 110 kW, 1500 r/min	5578 €
Taajuusmuuttaja)* 110 kW, 690V	7536 €
Yhteensä	13 114 €
Takaisinmaksuaika	1,1 vuotta

*)Taajuusmuuttajan soveltuvuus on tarkastettava moottorikohtaisesti

6 LÄMPÖENERGIAN SÄÄSTÖ MAHDOLLISUUS

GF-suodossäiliön pinnanvarmistus käyttäen sekundaarilauhdetta.

Sekundaarilauhdetta on ylimäärin ja säiliö on yleensä jatkuvasti ylikaadolla, samaan aikaan likaista suodosta puhdistetaan tuorehöyryllä valmistetulla kuumalla vedellä ajamalla sitä GF- pesurin pinnan säätöön niin, että säiliön suodos vaihtuu ylikaadon kautta. Kohteessa kannattaisi korvata pinnanvarmistuksen kuuma vesi sekundaarilauhteella. Tällöin säästyisi tuorehöyryä ja lauhteen lämpösisältö tulisi talteen.

Sekundaarilauhdepumpun PU-9027 tuotto 42 l/s.

Kuumaa vettä ajetaan pinnanvarmistukseen keskimäärin 28 % venttiilikulmalla n.15 l/s.

Tällä hetkellä ajetaan GF pesurin suihkuille pumpulla PU-9027 n. 20 l/s, eli nykyinen pumppu riittää normaaliajossa.

Kuumanveden valmistuksesta häviää vähintään 15 l/s pois. Seurauksena suora höyrynsäästö 0,4 kg/s, joka tarkoittaa noin 165 200 euroa säästöä vuodessa ($1\text{MW} \cdot 8178\text{h/a} \cdot 20\text{€/MWh}$), mikäli käytettävä sekundaarilauhde säilyy puhtaana.

Muutoksen avulla on mahdollista kokeilla myös yhden pumpun ajomallia 77 asteisen veden pumpauksessa.

Ehdotus toteutettiin vuosiseisokissa 2013.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää kuitulinjan sähkönkulutuksen alentamiseen soveltuvia muutoskohteita ja arvioida kohteiden parannuksista syntyvä kustannus ja säästö. Lisäksi tavoitteena oli muodostaa malli, jonka avulla työ on helposti hyödynnettävissä tehtaan muiden osastojen energiansäästöselvityksissä.

Selvitys kohdistettiin suuriin sähkökäyttöihin, koska ne myös kuluttavat suurimman osan kuitulinjalla käytetystä sähköstä. Työssä käytettiin prosessi- ja laitetietoja tehtaan ohjaus- ja SAP järjestelmästä sekä PI-kaavioista. Tiedoista muodostettiin ajallinen jakauma virtauksen, paineen tai venttiiliasennon eri arvoille. Näistä syntyi pysyvyyskäyriä, joiden avulla voitiin vertailla energian käyttöä eri säätötaivoilla. Turhia kierrätyksiä ei selvityksessä löytynyt, ainoastaan klooridioksilaitoksella on epätaloudellinen ohivirtaussäätö käytössä. Epätaloudellisia kuristussäätöjä selvityksessä löytyi useita. Pieni virtauksen säätöventtiilikulma voi kertoa ylisuuresta pumpun mitoituksesta. Näissä tapauksissa juoksupyörän pienentäminen voi tulla kyseeseen. Rinnakkaintoimivien pumppausten ajotavat ovat kunnossa, joissakin kohteissa vaaditaan molempien pumppujen jatkuvaa käyntiä.

Energiansäästöä kierrosnopeussäätöiseen vaihtoehtoon arvioitiin ABB:n ohjelmilla PumpSave 5.1. ja DrivePump 1.2. Ohjelman antamat energiansäästöarvot ovat suuntaa antavia. Työssä esitettyjen pumppujen vaihtaminen kierrosnopeussäätöiseksi näyttäisi olevan kannattavaa, koska takaisinmaksajat muodostuvat laskennassa käytetyllä sähkönhinnalla riittävän lyhyiksi. Moottorin muutostarpeen yhteydessä on huomioitava uuden moottorin soveltuvuus käytössä olevalle pedille. Pedin muutostarve lisää kustannuksia huomattavasti.

Työssä esiteltyjen muutosehdotuksien yhteenlaskettu sähkönsäästö on noin 3550 MWh/a. Pumppauksesta aiheutuvat kustannukset alentuivat n. 177 000 €/a laskennassa käytetyllä sähkönhinnalla 50 €/MWh. Muutoksista aiheutuvat kustannukset ovat noin 157 000 € ilman asennuskustannuksia. Kuitulinjan osalta sähkönominaiskulutus laskisi työssä esitetyillä muutoksilla n. 6,7 %. Hiilidioksidipäästöjen vähennyspotentiaali on noin 570 tonnia CO₂/vuosi, laskettuna StoraEnso konsernin ympäristöraportoinnissa käytetyllä sähköntuotannon päästöarvolla 161 kg CO₂/MWh. Luonnollisena jatko-toimenpiteenä on sellutehtaan muilla osastoilla tehtävä vastaavanlainen selvitys.

8 LÄHTEET

HUHTINEN Markku, KORHONEN Risto, PIMIÄ Tuomo, URPALAINEN Samu 2008. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.

METSÄTEOLLISUUDEN TYÖNANTAJALIITTO, 1981. M-108, Puusta paperiin, Nostokoneet ja Pumput

ESITTELYAINEISTO, StoraEnso 2012, Varkauden tehtaiden intranet.

PUMPSAVE 5.1 Energy saving calculation tool. [Viitattu 28.9.2013] Saatavissa:
<http://www.abb.com/product/ap/seitp322/24b03100d005c31ac1256e040043f4c1.aspx>

DRIVEPUMP 1.2. [Viitattu 28.9.2013] Saatavissa:
<http://www.abb.com/abblibrary/DownloadCenter/?showresultstab=true&QueryText=drivepump>

LIITE 1: PUMPPUKÄYTTÖJEN ENERGIANSAÄSTÖ JA MUUTOSKUSTANNUKSET

Positio	Nimi	Muutoskuvaus	Kustannusarvio * €	Energiansäästö * * MWh	Takaisinmaksuaika*** vuosina
KO-9256	Klooridioksidilaitoksen puhallin	Nykyinen puhallinkäyttö taajuusmuuttajasäätöiseksi	14076	231	1,22
PU-8411	Lajittelun laimennuspumppu 2	Käyttömoottorin uusinta ja taajuusmuuttaja	32000	519	1,23
PU-8450	Happivaiheen syöttöpumppu	Nykyinen käyttömoottori taajuusmuuttajasäätöiseksi	28600	395	1,45
PU-8457	GF- pesurin syöttöpumppu	Käyttömoottorin uusinta ja taajuusmuuttaja	28000	400	1,40
PU-8459	GF- pesurin etulaimennus-pumppu	Käyttömoottorin uusinta ja taajuusmuuttaja	25000	248	2,02
PU-8500	Valkaisun lajittelun syöttöpumppu	Käyttömoottorin uusinta ja taajuusmuuttaja	21000	192	2,18
PU-8501	Moduf lajittimen syöttöpumppu	Käyttömoottorin uusinta ja taajuusmuuttaja	46000	808	1,14
PU-8511	GF- suotimen etulaimennus-pumppu	Käyttömoottorin uusinta ja taajuusmuuttaja	28000	286	1,96
PU-8402	800m3 massasäiliön pumppu 2	Nykyinen pumppukäyttö taajuusmuuttajasäätöiseksi	20274	235	1,73
PU-9037	Kem. puh. lämminvesipumppu	Nykyinen pumppukäyttö taajuusmuuttajasäätöiseksi	20274	249	1,76
Yhteensä			263284	3563	1,48

*)Arvioon sisältyy kuvauksen mukaiset laitteet sekä kaapelointi ja asennukset, suunnittelu ja käyttöönotto.

**) Energiansäästöarvio perustuu vuoden 2012 käyttö- ja tuotantotasoon.

***)Sähköenergian hintana on käytetty 50€/MWh.

LIITE 2: MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja

Mittalaite: Chauvin Arnoux 8334 energia analysaattori

Toimintopaikan Nimi	Mittausaika	Sähkölähtö	Tehokerroin	Jännite	Virta	Teho
			cosφ	V	A	kW
Etulaimennuspumppu	26.4.13 klo 12.38	CT08	0,8	676	52,4	49,2
Lajittimien laimennuspumppu	26.4.13 klo 12.44	CT04	0,76	675,6	53	51,2
800m3 massasäiliönpumppu 2	26.4. 13 klo 12.56	CT14	0,83	676,2	100,3	97,67
Lajittelun laimennuspumppu 2	26.4.13 klo 13.05	CT49	0,63	675,7	136,4	100,4
Suodossäiliön pinnansäätöpumppu	26.4.13 klo 13.11	CT45	0,77	677,5	94,7	31,64
RR_puhallin	26.4.13 klo 12.50	CT10	0,78	676,4	26,6	24,45
Happivaiheen syöttöpumppu	29.4.13 klo 14.37	CA05A	0,77	710,0	227,9	214,7
Pesunestepumppu 1	29.4.13 klo 15.02	CA10E	0,75	711,3	62,2	57,76
Pesunestepumppu 2	29.4.13 klo 15.07	CA11C	0,85	711,7	34,8	36,78
GF-saostimen etulaimennuspumppu	26.4.13 klo 13.18	CS09	0,67	685,0	83,8	67,16
GF-pesurin syöttöpumppu	29.4.13 klo 14.57	CA07C	0,79	710,9	109,3	107,3
GF-pesurin suodospumppu	26.4.13 klo 13.25	CS08	0,78	685,2	100,3	92,58
Happisekoitin 1	29.4.13 klo 14.42	CA13H	0,82	710,2	24,7	24,91
Kemikaalisekoitin 2	29.4.13 klo 14.47	CA08C	0,75	710,6	21,73	15,9
Jakopurkain 2-reaktorista	29.4.13 klo 14.51	CA09C	0,62	710,5	25,3	19,42
GF-suotimen etulaimennuspumppu	26.4.13 klo 10.45	CU07	0,45	678,8	75,1	39,96
Lajittelun laimennuspumppu	26.4.13 klo 10.37	CU09	0,76	678,9	66,4	59,26
VML:n hakuvesipumppu	26.4.13 klo 10.26	CU11	0,84	678,9	156,8	154,7
Valk. Lajittelun syöttöpumppu	26.4.13 klo 10.15	CU14	0,73	679,3	51	43,82
77 C vesisäiliön pumppu 2	27.5.13 klo 13.30	CL28	0,83	***	***	67,11
77 C vesisäiliön pumppu 3	27.5.13 klo 13.25	CL29	0,73	***	***	44,45
Kem.puhd. Lämm.vesisäiliön pumppu 1	27.5.13 klo 13.50	CY38	0,59	***	***	48,0
Jäähdytetyn veden paineenkorotuspumppu	26.4.13 klo 13.45	CY52	***	685,0	6,6	6,0
Kempuvedisäiliön pumppu 2	26.4.13 klo 13.42	CS35	0,67	685,0	40,5	33,04
CLO kompressor	26.4.13 klo 13.33	CS56	0,69	685,2	75	61,89
KP Valkolipeä	27.5.13 klo 13.35	CG42	0,63	685,5	63,6	58,01
						1607,31